

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**USO DO ADCP COMO FERRAMENTA DE APOIO NO
TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUBATÃO DO NORTE**

Fernando Grison

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2008**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**USO DO ADCP COMO FERRAMENTA DE APOIO NO
TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUBATÃO DO NORTE**

Fernando Grison

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Masato Kobiyama**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2008**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

USO DO ADCP COMO FERRAMENTA DE APOIO NO
TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUBATÃO DO NORTE

FERNANDO GRISON

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental –TCC II

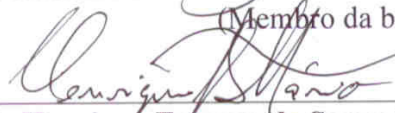
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Masato Kobiyama
(Orientador)



Doutorando Roberto Valmir da Silva
(Membro da banca)



Doutorando Henrique Frasson de Souza Mario
(Membro da banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2008

**Dedico esse trabalho à minha família, por
todo o apoio que tive durante todos os anos
de minha vida.**

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Masato Kobiyama, pela oportunidade de realizar esse trabalho, por sua grande amizade e por todos os seus ensinamentos hidrológicos durante os quatro anos de trabalho no Laboratório de Hidrologia da UFSC, que acredito ter enriquecido minha formação de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

À minha especial namorada Ana Hilda, por toda sua ajuda e paciência durante minha graduação.

Aos amigos do Laboratório de Hidrologia, Pedro, Roberto e Henrique por todos os esforços somados na construção desse trabalho.

Ao Laboratório de Hidrogeomorfologia da UFPR, coordenado pelo amigo Irani, que muito contribuiu com seus ensinamentos em hidrometria.

À Companhia de Águas de Joinville, onde tive o apoio e atenção da Engenheira Sanitarista e Ambiental Helena.

A todos meus amigos e colegas que direta ou indiretamente me deram forças para a realização deste trabalho.

"Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto" - Albert Einstein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Características geométricas de uma seção transversal.....	4
Figura 2 - Transmissão e dispersão de um pulso acústico (Simpson, 2001)	6
Figura 3 - Ângulo formado entre os transdutores do ADCP e uma vertical (Simpson, 2001)	7
Figura 4 - Perfil de corrente em 3D (SONTEK, 2000)	8
Figura 5 - Analogia de uma medição de vazão convencional para uma medição com efeito Doppler (Simpson, 2001).....	9
Figura 6 - Curva-chave da bacia do campus da UFSC.....	10
Figura 7 - Localização da área da BHRC considerada à montante da CAJ.....	12
Figura 8 - Esquema ilustrativo do método da meia seção	14
Figura 9 - Esquema ilustrativo do método da seção média	15
Figura 10 - Sistema de roldanas com cabo de aço. (a) Cabo de aço esticado com detalhe da fixação da roldana; (b) Detalhe da fixação da roldana; (c) Travessia do ADCP pelo cabo de aço.	16
Figura 11 - Comparação entre os dados de velocidade média do micromolinete e ADCP	20
Figura 12 - Áreas acumuladas das medições do micromolinete e ADCP	20
Figura 13 - Vazões estimadas acumuladas do micromolinete e ADCP	21
Figura 14 - Dados medidos em conjunto com as curvas validadas	22
Figura 15 - Plotagem das curvas da ANA em escala logarítmica	23
Figura 16 - Curvas de descargas geradas e extrapoladas pelo <i>software</i> Stevens em comparação com as curvas validadas pela ANA	24
Figura 17 - Curva Stevens 1	25
Figura 18 - Curva Stevens 4.....	25
Figura 19 - Curva Stevens 10.....	26
Figura 20 - Comparação de vazões calculadas pelas equações das curvas Stevens com as vazões medidas em campo	27
Figura 21 - Valores acumulados por somatórios de diferenças de vazões calculadas com vazões medidas.....	27
Figura 22 - Hidrogramas da série de vazões da estação ETA-CAJ do LABHIDRO	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de calculo das velocidades médias nas verticais pelo Método Detalhado	13
Tabela 2 - Distâncias recomendadas entres as verticais	14
Tabela 3 – Dados de vazão obtidos com o micromolinete com o ADCP. DME é a distância da margem esquerda (m), PM a profundidade média (m), VM a velocidade média ($m.s^{-1}$), AA é a área acumulada (m^2), VA a vazão acumulada ($m^3.s^{-1}$), M é micromolinete, SM é método da seção média e MS é método da meia seção.	19

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
a	Diferença de altura entre o zero da régua e o nível de vazão nula	m
a_i	Área dos segmentos de vazão	m ²
A	Área molhada	m ²
b	Coefficiente característico de uma estação fluviométrica	
c	Coefficiente de Chezy	m ^{1/2} .s ^{-1/2}
C	Velocidade do som	m.s ⁻¹
C	Cota de vazão	m
C_o	Coefficiente característico de uma estação fluviométrica	
d_{i+1}	Semi-distância à vertical pelo micromolinete	m
d_{i-1}	Semi-distância à vertical pelo micromolinete	m
F_d	Diferença de frequência	Hz
F_s	Frequência transmitida de uma fonte	Hz
h_i	Profundidades verticais de velocidade pelo micromolinete	m
h_{i-1}	Profundidades verticais de velocidade pelo micromolinete	m
h_m	Profundidade média dos segmentos de vazão medidos com o micromolinete	m
H	Altura da lâmina de água correspondente à vazão	m
I	Declividade superficial	m.m ⁻¹
L	Largura da seção transversal medida	m
L_i	Largura do segmento retangular	m
N	Número de rotações por segundo da hélice de um molinete	
p	Passo da hélice de um molinete	
P_m	Profundidade média	m
q_i	Vazão parcial	m ³ .s ⁻¹
Q_T	Vazão total	m ³ .s ⁻¹
Q	Vazão	m ³ .s ⁻¹
R	Raio hidráulico	m
t	Tempo	s
U	Numero de revoluções	
v_i	Velocidade média de uma subseção	m.s ⁻¹
\bar{v}_i	Velocidade média na vertical	m.s ⁻¹
V	Velocidade de atrito da hélice de um molinete	m.s ⁻¹
V	Velocidade da hélice de um molinete	m.s ⁻¹

V_m	Velocidade média	m.s^{-1}
V_R	Velocidade relativa entre a fonte e o objeto	m.s^{-1}
θ	Angulo entre o vetor da velocidade relativa e a linha entre o ADCP e a dispersão das partículas	

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. HIDROMETRIA.....	4
3.2. MOLINETE HIDROMÉTRICO.....	4
3.3. ADCP.....	5
3.3.1. O princípio de funcionamento.....	5
3.3.2. O efeito Doppler.....	6
3.2.3. As componentes das três dimensões da velocidade.....	7
3.3.4. O perfil de velocidades.....	8
3.3.5. Procedimento de medição de vazão com ADCP.....	8
3.3.6. As áreas não medidas pelo ADCP.....	9
3.4. CURVA-CHAVE.....	10
3.5. EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE.....	11
3.6. INCERTEZA.....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	12
4.2. MEDIÇÃO DE VAZÃO COM MOLINETE HIDROMÉTRICO.....	13
4.2.1. Cálculo da vazão.....	14
4.2.1.1. Método da meia seção.....	14
4.2.1.2. Método da seção média.....	15
4.3. MEDIÇÃO DE VAZÃO COM ADCP.....	16
4.4. COMPARAÇÃO DOS DADOS DE VAZÃO OBTIDOS ENTRE MOLINETE E ADCP.....	16
4.5. TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE.....	16
4.5.1. Método de Stevens.....	16
4.5.2. Sistema STEVENS de ajuste e extrapolação de curvas de descarga.....	17
4.6. OBTENÇÃO DE DADOS DA AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS.....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19

5.1. VERIFICAÇÃO DA CONFIABILIDADE DO ADCP COM USO DE MICROMOLINETE.....	19
5.2. COMPARAÇÃO DOS DADOS DA ANA COM OS DADOS DO ADCP ...	21
5.3. TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE.....	23
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
ANEXOS	33

RESUMO

O intenso processo de urbanização na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte (BHRC) no Estado de Santa Catarina promove uma crescente utilização dos recursos hídricos nessa bacia. Até hoje, a utilização desses recursos vem sendo realizada com poucos estudos hidrológicos. A preservação dos potenciais hídricos da BHRC depende de um gerenciamento adequado. O conhecimento do regime fluvial na BHRC é, portanto, de fundamental importância. Um regime fluvial pode ser compreendido somente com dados de vazão que é hoje medida comumente com aparelhos como molinete e ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Como o procedimento de medição é muito trabalhoso e inviável para ser realizado seguidamente, opta-se por construir uma relação do nível d'água (ou cota) de uma seção do rio com sua correspondente vazão, denominada de curva-chave. Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo traçar e extrapolar uma curva-chave em uma estação fluviométrica da BHRC tendo como ferramenta de apoio um ADCP. A confiabilidade do ADCP foi confirmada pela comparação das medições de vazão do ADCP com um micromolinete. Para o traçado e extrapolação da curva-chave utilizou-se o *software* STEVENS, que calcula e extrapola doze tipos de curvas, com base na teoria do Método de Stevens. Utilizando o banco de dados de medição da vazão realizada na estação fluviométrica de Pirabeiraba da ANA juntamente com os dados medidos com o ADCP foram selecionadas três curvas-chaves no *software* STEVENS: Curva Stevens 1; Curva Stevens 4 e Curva Stevens 10. Para cotas baixas, as curvas 1, 4 e 10 foram extrapoladas até 0,5, 0,7 e 0,1 m, respectivamente. Para cotas altas, as três curvas foram extrapoladas até 6 m. Ao analisar, em um mesmo gráfico, os dados dessas três curvas juntamente com os dados da ANA, observou-se que todas as curvas passam pelos dados obtidos com o ADCP, o que mostra a confiabilidade desse aparelho. Utilizando-se as mesmas cotas medidas em campo para o cálculo de vazões com as equações das três curvas, constatou-se que a curva gerada com as vazões calculadas pela equação da Curva Stevens 1 foi aquela que mais se aproximou do conjunto das medições do ADCP. Mesmo assim, existe uma incerteza de qual das três curvas é a mais adequada para essa estação fluviométrica da BHRC. A incerteza existente entre as três curvas só diminuirá com mais medições de vazão, tanto em baixos como em altos níveis de água do rio.

Palavras-chave: ADCP; curva-chave; incerteza.

ABSTRACT

The intense process of urbanization in the Cubatão do Norte River Watershed (BHRC) in the state of Santa Catarina promotes the increasing use of the water resources in this watershed. Utilization has been carried out with few hydrological studies. The water potential preservation depends on an adequate management. The river regime knowledge is, therefore, of fundamental importance. A river regime can be comprehended only with discharge data which is today measured normally with devices such as current meter and ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Since the procedure of this measurement is very laborious and almost impossible to be done successively, it is normally chosen to build a relationship of water levels (or quotas) at a certain section of the river with their corresponding discharges, which is called the stage discharge curve. Hence, the objective of the present work was aimed to draw a stage discharge curve and extrapolate it for a gauge station in the BHRC by using the ADCP as a support tool. The reliability of this tool was confirmed through a comparison of discharge measurements between ADCP and a current meter. For the drawing and the extrapolation of the curve, the software STEVENS was used. Based on the theory of Stevens method, this software establishes twelve kinds of curves. Using the database of the Pirabeiraba gauge station of the ANA and the data obtained with the ADCP, three curves established by the STEVENS (Stevens Curve 1, Stevens Curve 4 and Stevens Curve 10) were selected. For lower discharges, the Curves 1, 4 and 10 were extrapolated to 0.5, 0.7 and 0.1 m, respectively. For higher discharges, these three curves were extrapolated to 6 m. These three curves and the data obtained by the ANA were put on the same graph. It is observed that all the curves pass through the data obtained with the ADCP, which shows the reliability of this device. Using the same stages measured on the field for calculating discharges with the curves' equations, it is noted that the curve generated with the discharges calculated by the Stevens Curve 1 is nearest all the measurements with the ADCP. However, still now there is uncertainty about which of the three curves is most suitable for the gauge station in the BHRC. The existing uncertainty among the three curves will be reduced only with more discharge measurements at both the low and high water-levels.

Key-Words: ADCP; stage discharge curve, uncertainty.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são compreendidos como fontes de valor econômico essencial para a sobrevivência e desenvolvimento dos seres vivos. A preocupação com a preservação do ambiente hídrico nas inúmeras atividades praticadas pelos seres humanos está evoluindo progressivamente. Devido a este fato, é importante que haja um gerenciamento adequado dos potenciais hídricos disponíveis no mundo. Para isso, o conhecimento do regime fluvial é fundamental.

Os dados de vazão são indispensáveis para o planejamento dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, meio ambiente e muitos outros estudos de grande importância científica e sócio-econômica (IBIAPINA *et al.*, 2007). Segundo CLARKE (2002), a importância dos dados de vazão é para previsão de vazões futuras e para estimar a frequência de ocorrência de eventos futuros que possam dificultar o gerenciamento dos recursos hídricos. As baixas vazões podem prejudicar a produção de energia e sistemas de irrigação. As enchentes podem danificar infra-estruturas. As técnicas hidrológicas utilizadas para a estimação das frequências de eventos futuros se baseiam na suposição crítica de que a frequência de um evento no passado será a mesma no futuro. Por isso, é tão importante o monitoramento de vazões extremas assim como a aplicação de técnicas estatísticas apropriadas, a fim de detectar possíveis tendências nas séries de dados.

A determinação da vazão de um rio pode ser feita diretamente com o uso de equipamentos como molinete e ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Esse procedimento de medição com molinete e ADCP é extremamente trabalhoso e oneroso. Por este motivo, geralmente opta-se pelo registro dos níveis da água em uma determinada seção transversal do rio e determina-se uma relação entre a vazão e o nível, denominada curva-chave (ou curva de descarga).

As medições de vazão normalmente definem apenas um trecho central da curva-chave e por isso existem problemas nos trechos superiores e inferiores da curva. Os problemas na representação da relação inferior são devidos principalmente à mudança de leito devido à deposição de sedimentos ou erosão. Já na relação superior é a carência de medidas nos eventos extremos de vazão. Então o ramo superior e o inferior são os pontos críticos da qualidade da curva. Assim, para poder estimar as vazões também nessas situações e estabelecer uma série continua de dados de vazões, a curva-chave deve ser extrapolada para níveis maiores e menores. Essas extrapolações, embora muitas vezes calçadas em maior e ou menor grau nas leis da hidráulica, geram incertezas e erros nas estimativas das vazões. Por isso, é importante a realização de medições de vazão fora do intervalo já medido a fim de confirmar ou retificar as extrapolações (SANTOS *et al.*, 2001).

A bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte (BHRC) é considerada uma das principais bacias da região nordeste do estado de Santa Catarina e constitui o principal contribuinte hídrico do complexo estuarino da Baía da Babitonga. A BHRC é responsável por cerca de 70% do abastecimento de água de Joinville e de parte do município de Araquari. Devido ao crescimento demográfico e socioeconômico da região de Joinville a demanda por água se apresenta em constante crescimento. Além disso, nas últimas décadas a elevada concentração urbana teve como uma das conseqüências o aumento do consumo per capita de água. A atividade industrial e o

emprego de novas tecnologias na irrigação também contribuíram significativamente para o aumento dos índices de demanda hídrica da BHRC (GONÇALVES, 2006).

A existência de poucos estudos hidrológicos na BHRC compromete a retirada de água da bacia e, conseqüentemente, o conhecimento do comportamento do regime fluvial da bacia. Para isso, o projeto de pesquisa intitulado “Curso de Capacitação em Hidrologia e Hidrometria para Conservação de Mananciais” financiado pelo edital MCT/ CNPq/ CT– Hidro nº 037/2006 “Capacitação em Hidrometria para gestão de Recursos Hídricos” tem como uma das suas atividades, a instalação de uma estação meteorológica e uma fluviométrica (que mede o nível d’água de uma seção transversal de um rio), na BHRC. Desta forma, a determinação da curva-chave dessa estação fluviométrica será imprescindível para o funcionamento da mesma e qualidade dos dados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo geral traçar e extrapolar uma curva-chave com base em medições de vazão feitas por ADCP na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte no município de Joinville, Estado de Santa Catarina.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir vazões na seção de interesse usando micromolinete e ADCP;
- Comparar as medições do micromolinete com as medições do ADCP;
- Traçar e extrapolar a curva-chave do Rio Cubatão do Norte com base nas medições do ADCP e em dados de vazão da Agência Nacional de Águas deste mesmo local;

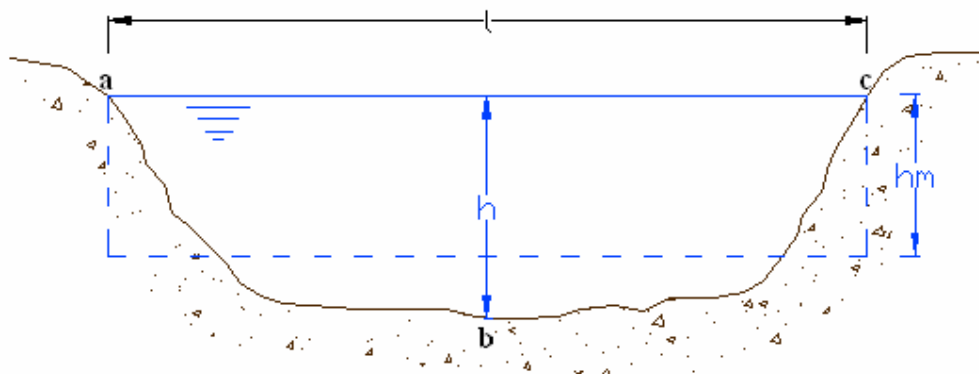
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. HIDROMETRIA

Hidrometria é a ciência da medida e da análise das características físicas e químicas da água, inclusive dos métodos, técnicas e instrumentação utilizados em hidrologia (GLOSSÁRIO DE TERMOS HIDROLÓGICOS, 2002). É uma das partes mais importantes da hidráulica, pois, cuida de questões tais como medidas de profundidade, de variação do nível da água, das seções de escoamento, das pressões, das velocidades e das vazões ou descargas (AZEVEDO NETTO, 2003).

A fluviometria, que faz parte da hidrometria, trata das medições de vazões dos rios (SANTOS *et al.*, 2001). Uma estação fluviométrica se localiza em uma seção do rio, composta basicamente por réguas linimétricas e/ou linígrafos para medição dos níveis de água. As características geométricas da seção transversal definida pela estação variam com o nível d'água na mesma (Figura 1). Essas características são a seguir:

- ⇒ Área molhada: área da seção transversal ocupada pela água;
- ⇒ Perímetro molhado: comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito;
- ⇒ Raio hidráulico: quociente da área molhada pelo perímetro molhado;
- ⇒ Largura superficial: comprimento da linha horizontal da área molhada;
- ⇒ Profundidade média: quociente da área molhada pela largura superficial.



h = profundidade; h_m = profundidade média; $abca$ = área molhada;

Figura 1 - Características geométricas de uma seção transversal

3.2. MOLINETE HIDROMÉTRICO

Molinete hidrométrico é um aparelho que serve para medir a velocidade de um escoamento (SANTOS *et al.*, 2001). Ele possui uma hélice acoplada a um eixo que gira no sentido contrário ao fluxo mandando sinais elétricos a um contador de rotações. A velocidade do fluxo é calculada com uma equação própria do aparelho, construída em laboratório:

$$V = N \cdot p + v \quad (1)$$

onde V é a velocidade (m.s^{-1}); N é o número de rotações por segundo; p é o passo da hélice; e v é a velocidade de atrito.

3.3. ADCP

3.3.1. O princípio de funcionamento

O ADCP - *Acoustic Doppler Current Profiler*, ou Correntômetro Acústico de Efeito Doppler, é um aparelho desenvolvido para medir a velocidade das partículas suspensas na água e por consequência a corrente d'água através do efeito Doppler. Os ADCPs também são chamados de aparelhos Doppler ou instrumentos Doppler. Segundo SIMPSOM (2001), o efeito Doppler é um princípio da física descoberto pelo austríaco Christian Johann Doppler (matemático e físico) em 1842, em Praga - Czechoslovakia e por isso denominado de efeito Doppler. Para muitas pessoas o efeito Doppler é conhecido como o som da buzina de um carro que ao se aproximar de um observador parece aumentar sua frequência e ao passar por ele parece diminuir essa frequência. A aparente redução da frequência é chamada de mudança Doppler. O carro é a fonte de movimento das ondas sonoras. Para o observador a frequência das ondas sonoras é proporcional à velocidade de aproximação e afastamento do carro e à frequência da buzina do carro.

Para o ADCP o efeito Doppler é a mudança na frequência de uma onda sonora causada por um movimento relativo entre o aparelho transmissor do som (chamado de transdutor) e o material em suspensão na água. O material ao ser atingido por um feixe de ondas sonoras muda a frequência de retransmissão. Como esse material se desloca na mesma velocidade da corrente de água, a magnitude do efeito Doppler é diretamente proporcional a essa velocidade (FILHO *et al.*, 1999). Portanto, para medidores de corrente Doppler, olha-se para a reflexão do som nas partículas da água.

O ADCP também pode ser utilizado para medir o seu movimento com relação ao fundo do rio e a distribuição dos sedimentos em suspensão na seção de medição. Segundo BUBA *et al.* (2001), muitas vezes a massa d'água com sedimento em suspensão envolve materiais sólidos que refletem as ondas sonoras de maneira diferenciada dos sedimentos suspensos. Por isso, a detecção desses materiais estranhos da água é medida indiretamente pelo ADCP.

Uma grande vantagem de um ADCP é a sua rapidez na medição da velocidade da água. Além disso, mede muito mais pontos em uma seção transversal de um rio do que instrumentos convencionais, como molinetes. O ADCP também possui a facilidade de comunicar-se diretamente com microcomputadores, transferindo os dados de velocidade em tempo real e calculando a vazão automaticamente. Por outro lado, uma grande desvantagem é o alto custo do aparelho.

3.3.2. O efeito Doppler

A mudança na frequência devido ao efeito Doppler é calculada pela equação abaixo.

$$F_d = F_s \frac{V_R}{C} \quad (2)$$

onde F_d é a diferença de frequência (Hz); F_s é a frequência transmitida de uma fonte (Hz); V_R é a velocidade relativa entre a fonte e o objeto (m/s); e C é velocidade do som (m/s).

O ADCP transmite um pulso acústico (um *ping*) na coluna de água e em seguida, escuta o regresso do som (o eco). Ao receber o eco, o ADCP calcula o efeito Doppler. A Figura 2 mostra um esquema de como um pulso acústico é transmitido na água e as suas conseqüentes reflexões de energia acústica (SIMPSOM, 2001).

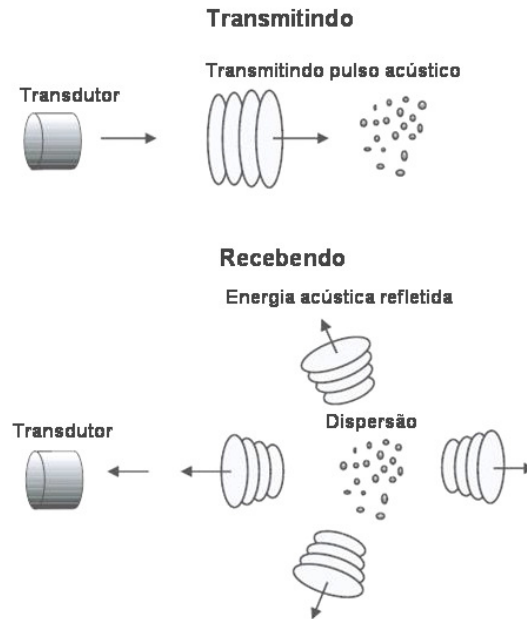


Figura 2 - Transmissão e dispersão de um pulso acústico (Simpson, 2001)

Na Figura 2 acima se observa que apenas parte do eco refletido é lido pelo transdutor. A maioria dos pulsos acústicos são absorvidos ou refletidos em outras direções. Para o ADCP uma parte desse Doppler é o som deslocado pela dispersão posterior das partículas da água, como se as partículas dispersadas fossem uma nova fonte sonora. Portanto, há um efeito Doppler entre o transdutor e a partícula, e outro entre a partícula e o transdutor. Assim a Equação 2 se define como:

$$F_d = 2F_s \frac{V_R}{C} \quad (3)$$

Como o efeito Doppler é resultado de uma única componente de velocidade na direção do transdutor (emissor e receptor) as velocidades perpendiculares à direção do transdutor não produzem nenhum efeito (FILHO *et al*, 1999). A Equação 3 é definida como:

$$F_d = 2F_s \left(\frac{V_R}{C} \right) \cos \theta \quad (4)$$

onde θ é o ângulo entre o vetor da velocidade relativa e a linha entre o ADCP e a dispersão das partículas.

3.2.3. As componentes das três dimensões da velocidade

Ao montar um aparelho Doppler em uma embarcação, observa-se que os transdutores do aparelho formam um certo ângulo conhecido com a vertical, conforme o fabricante do aparelho (Figura 3). Como o efeito Doppler acontece na seção do eixo do transdutor, é necessário calcular trigonometricamente as componentes da direção que se utilizará, sejam elas do sistema cartesiano, ou se o aparelho possuir uma bússola, no sistema de coordenadas geográficas Norte-Sul / Leste-Oeste. O cálculo da velocidade em três dimensões (x, y, z) é feito com três feixes acústicos. Cada grupo de três transdutores mede a componente Leste/Oeste/Vertical, ou Norte/Sul/Vertical. (GAMARO, 2007).

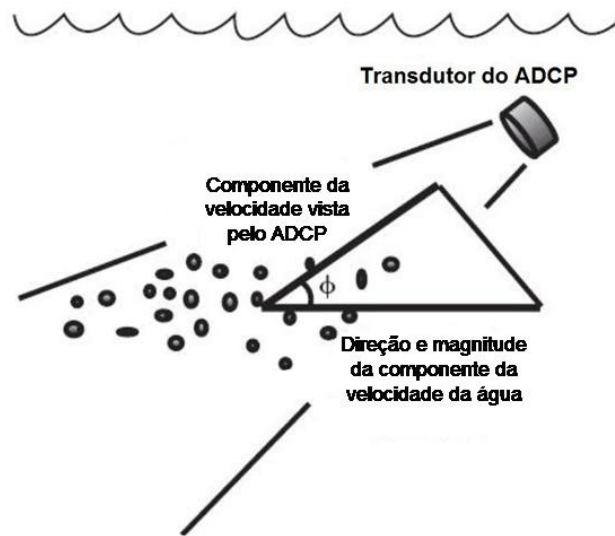


Figura 3 - Ângulo formado entre os transdutores do ADCP e uma vertical (Simpson, 2001)

A velocidade denominada de vertical não é a velocidade de corrente na vertical do perfil. Ela é o resultado da decomposição dos vetores ortogonais. O valor dessa velocidade serve para verificar se o volume de água entre os feixes é, ou não, homogêneo. No caso, de ser homogêneo quer dizer que a velocidade da água não muda significativamente em magnitude ou direção no plano (limitado pelos feixes acústicos), e vice-versa (GAMARO, 2007).

3.3.4. O perfil de velocidades

A localização da seção de medição é uma função do momento de retorno do pulso acústico. A distância percorrida pelo pulso é determinada pelo tempo decorrido desde que o pulso foi transmitido até ser recebido pelo transdutor. Além disso, esse tempo especifica a localização das partículas da água atingidas pelo feixe sonoro. Como o retorno das ondas sonoras acontece em diferentes tempos o ADCP mede a velocidade da água em diferentes distâncias do transdutor. Dessa forma, gera-se um perfil de velocidades da água que é dividido em células de profundidades, onde cada célula representa a média do sinal de frequência retornado em um certo tempo (SONTEK, 2000). A Figura 4 mostra a operação do ADCP para um perfil de corrente em três dimensões.

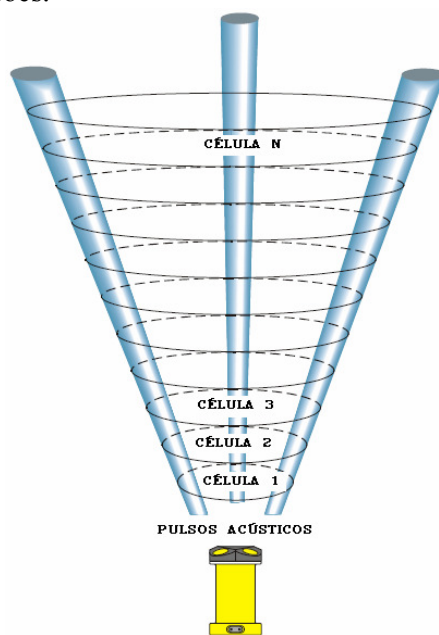


Figura 4 - Perfil de corrente em 3D (SONTEK, 2000)

A verdadeira definição espacial da extensão de uma célula é determinada pela convolução (enrolamento) do comprimento do pulso acústico e pela janela receptora acima do qual o sinal retornado é uma média. O ADCP usa o mesmo valor para o comprimento do pulso e para janela receptora. Isto resulta em uma função triangular ponderada onde a largura do triângulo (a verdadeira extensão espacial da célula) é o dobro do tamanho da extensão da célula especificada pelo usuário (SONTEK, 2000).

3.3.5. Procedimento de medição de vazão com ADCP

A medição de vazão com um instrumento Doppler pode ser comparada a uma medição convencional com um conjunto de molinetes colocados em uma seção vertical. A medida de velocidade de cada um dos molinetes corresponde a um ponto. Com o ADCP, a velocidade será a média das velocidades para cada uma destas células (Figura 5). Portanto, cada célula tem sua extensão determinada pela

velocidade de navegação do aparelho e pela velocidade de processamento dos dados, aproximadamente 0,5 segundo. Assim, pode-se dizer que a principal diferença das medições dos instrumentos Doppler para os molinetes é que as feitas por Doppler são muito mais detalhadas. Além disso, a trajetória do ADCP não precisa ser perpendicular à seção de medição (GAMARO, 2007).

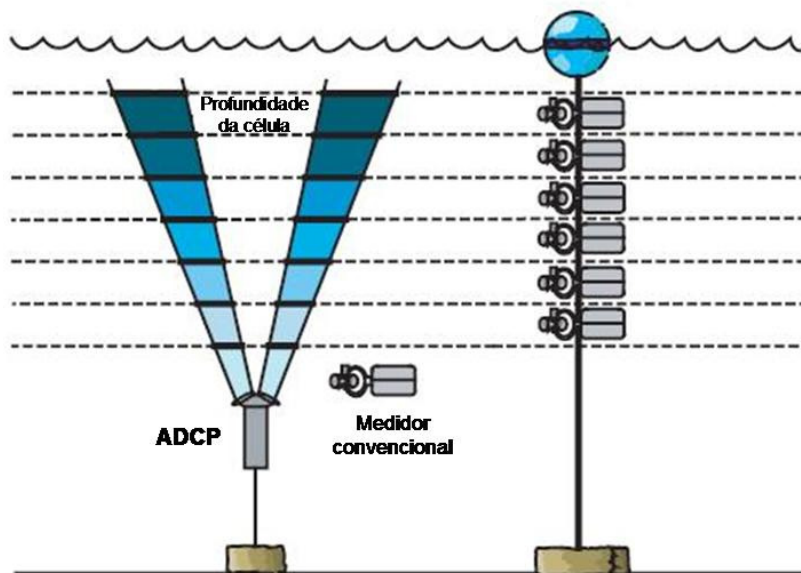


Figura 5 - Analogia de uma medição de vazão convencional para uma medição com efeito Doppler (Simpson, 2001)

Para medição com o ADCP, a montagem pode ser feita tanto em estruturas fixas, com o ADCP olhando para cima (*upward looking*)(Figura 5) como em estruturas móveis com o ADCP olhando para baixo (*downward looking*).

3.3.6. As áreas não medidas pelo ADCP

Em uma seção de medição existem áreas que não são medidas pelo aparelho Doppler. Essas áreas geralmente são próximas ao ADCP, próximas do leito e nas margens do rio. Em frente ao transdutor há um espaço reservado para emitir e receber o feixe sonoro. Nessa pequena região o ADCP não consegue medir, e por isso é chamada de *blanking region*. Isto permite aos transdutores recuperar eletronicamente o pulso transmitido e preparar para receber o retorno do sinal. Na área do fundo as ondas sonoras se espalham numa vertical formando um feixe paralelo, chamado "*side lobe*". O "*side lobe*" possui uma energia muito fraca que não produz ruído considerável e por isso chega ao fundo primeiro. Ao encontrar uma boa superfície para reflexão contamina o espaço perto do leito, impedindo a leitura de dados. As áreas não medidas nas margens são devido à baixa profundidade da coluna de água (SONTEK, 2000).

3.4. CURVA-CHAVE

Em uma seção transversal de um curso d'água, a relação que existe entre a descarga e a altura da lâmina d'água (cota) é uma função denominada de curva de descarga, ou curva-chave. Essa função é muito complexa e envolve características geométricas da seção transversal considerada e características hidráulicas do canal (JACCON e CUDO, 1989). A Figura 6 mostra um exemplo de curva-chave da Bacia do Campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Florianópolis.

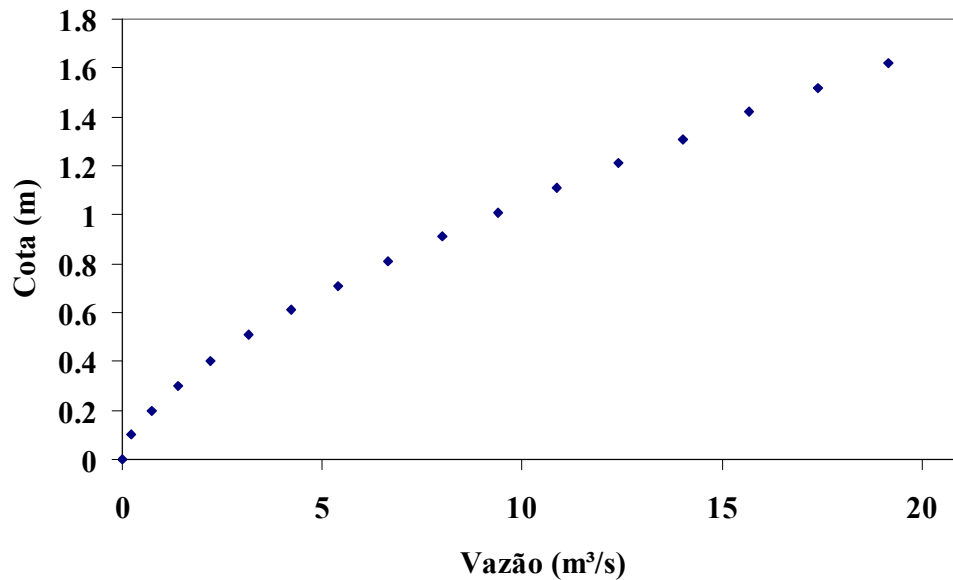


Figura 6 - Curva-chave da bacia do campus da UFSC

A curva-chave serve para a geração de uma série de vazões que podem ser diárias, mensais, anuais, conforme for o objetivo do uso da curva. Com os resultados de uma curva-chave podem-se elaborar estudos de vazões extremas, máximas e mínimas.

Segundo LAMBIE (1978) e MOSLEY e MCKERCHAR (1993), citados por BRUSA e CLARK (1999), a curva-chave pode ser determinada por meio da relação exponencial:

$$Q = C_o (H + a)^b \quad (5)$$

onde Q é a vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); H é a altura da lâmina de água correspondente à vazão (m); a é a diferença de altura entre o zero da régua e o nível de vazão nula (m); e C_o e b são coeficientes característicos da estação. Praticamente, os coeficientes C_o e b são calculados mediante regressão linear entre os valores logarítmicos $\ln Q$ e $\ln(H+a)$. O coeficiente a será aquele que fornecer a melhor regressão linear representado através do coeficiente de determinação r^2 que indica a porcentagem da variância explicada pelo ajuste da curva.

Segundo FILHO (2003), a interpretação e análise das curvas-chave devem considerar todas as informações disponíveis, pesquisando-se históricos e relatórios

de inspeção, alterações da posição das réguas e das seções transversais, e possíveis mudanças das condições de escoamento nas proximidades das estações.

3.5. EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE

Extrapolar uma curva-chave significa complementar o traçado da relação cota-vazão nas regiões de cotas observadas em que não foi possível medir a vazão. Para essa atividade é necessário conhecimento do comportamento dos parâmetros geométricos e hidráulicos para os mesmos intervalos de cotas. Resumindo, extrapolar é interrogar-se sobre como variam as características geométricas de uma seção durante a continuidade de um escoamento (JACCON e CUDO, 1989).

3.6. INCERTEZA

Incerteza significa que um resultado é desconhecido ou não pode ser estabelecido a priori. A incerteza pode ser de dois tipos. Primeiro, a incerteza natural (física, externa, objetiva, aleatória ou estocástica), que trata com a variabilidade do mundo físico, sob a hipótese de que essa aleatoriedade é irreduzível. Em segundo, a incerteza do conhecimento: epistêmica, funcional, interna ou objetiva (MENDIONDO, 2001).

A incerteza no mundo real é uma variação natural uma aleatoriedade natural ou não-reduzível muito útil de conhecê-la e manejá-la. Já a incerteza racional, do conhecimento, é considerada como uma função de modelos e dados, em que deve ser incorporada a tomada de decisão, baseada no modelo mais apropriado (MENDIONDO, 2001).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

As medições de vazão foram realizadas no ponto da antiga captação de água da Companhia Águas de Joinville (CAJ), dentro da BHRC que se localiza na região nordeste do estado de Santa Catarina abrangendo os municípios de Joinville e Garuva.

A BHRC possui área total de aproximadamente 492 km² sendo a extensão do rio principal de 88 km. A nascente da bacia está situada na Serra Queimada (cota altimétrica de 1.100 m) e sua foz no estuário da Baía da Babitonga. Para a realização desse trabalho não foi considerada toda a extensão BHRC. Considerou-se apenas a área à montante do antigo ponto de captação de água da CAJ, onde foram feitas as medições de vazão. A Figura 7 mostra a área da BHRC considerada nesse trabalho.

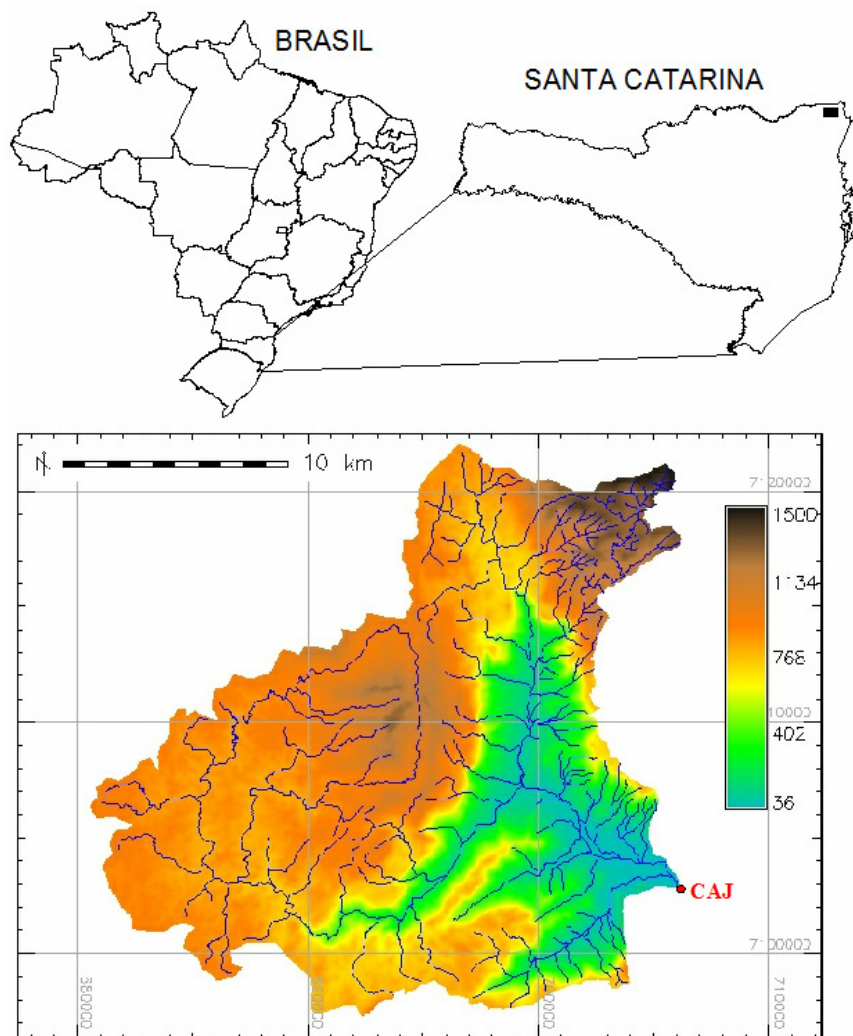


Figura 7 - Localização da área da BHRC considerada à montante da CAJ.

Os afluentes do Rio Cubatão do Norte estão distribuídos ao longo das duas margens. Na margem direita estão os seguintes rios: Tigre, Jerônimo Coelho, Seco, Isaac, Prata, Fleith, Kundt, Lindo, Alandf, do Braço e Mississipi. Os afluentes da margem esquerda são: Campinas, Vermelho, Rolando, Rio do Meio e Quiriri (maior contribuinte). Todos esses rios possuem suas nascentes na Serra do Mar, geralmente em cotas altimétricas acima de 700 m, sendo as únicas exceções as nascentes dos rios Mississipi e do Braço, situadas nas cotas de 250 m e 18 m, respectivamente (GONÇALVES *et al.*, 2006).

A BHRC possui dois principais padrões de drenagens: dendrítico e paralelo. O dendrítico (ou arborecente), ocorre no alto curso da BHRC, entre os granitos Morro Redondo e Dona Francisca. O padrão de drenagem paralelo existe nas áreas de vertentes com forte declive ou em áreas onde ocorrem espaçamentos regulares paralelos as correntes fluviais. O padrão paralelo pode ser visto com frequência no baixo curso do rio Cubatão, nos vales compreendidos entre os rios Lindo e Seco, condicionados por lineamentos com direção NE/SW (CCJ, 2008).

4.2. MEDIÇÃO DE VAZÃO COM MOLINETE HIDROMÉTRICO

Para medição de vazão com molinete utilizou-se um micromolinete (ou minimolinete) do fabricante *OTT*, modelo *C2* (Anexo 1). Esse tipo de medição consiste em traçar a área da seção transversal e determinar a velocidade média do fluxo nessa seção. Medindo a largura do canal e a profundidade em diversos pontos, formando várias verticais no decorrer da seção, obtém-se a área transversal. Em cada vertical, medindo-se com o molinete determinam-se várias velocidades em diferentes profundidades correspondentes. A velocidade média em cada vertical pode ser então determinada por métodos analíticos (SANTOS *et al.*, 2001). A Tabela 1 mostra o cálculo das velocidades médias em até seis pontos para cada vertical.

Tabela 1 - Tabela de calculo das velocidades médias nas verticais pelo Método Detalhado

Nº de pontos	Posição na vertical em relação à profundidade (m)	Cálculo da velocidade média na vertical (m/s)	Prof. (m)
1	0,6p	$\bar{v} = v_{0,6}$	0,15 - 0,6
2	0,2p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + v_{0,8}) / 2$	0,6 - 1,2
3	0,2p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 4$	1,2 - 2,0
4	0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 6$	2,0 - 4,0
6	S; 0,2p; 0,4p; 0,6p; 0,8p e F	$\bar{v} = (v_s + 2(v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,6} + v_{0,8}) + v_f) / 10$	> 4,0

(*) S = superfície; F = fundo

DNAEE (1977) citada por SANTOS *et al.*, 2001.

Praticamente, o número de verticais deve ser tal que a vazão média em cada vertical não ultrapasse 10% da vazão média total da seção. A Tabela 2 mostra algumas distâncias recomendadas entre as verticais.

Tabela 2 - Distâncias recomendadas entres as verticais

Largura do canal (m)	Distância entre as verticais (m)
< 3,0	0,30
3,0 à 6,0	0,50
6,0 à 15,0	1,00
15,0 à 30,0	2,00
30,0 à 50,0	3,00
50,0 à 80,0	4,00
80,0 à 150,0	6,00
150 à 250,0	8,00
> 250,0	12,00

DNAEE (1967) citada por SANTOS *et al.*, 2001

4.2.1. Cálculo da vazão

4.2.1.1. Método da meia seção

Esse método consiste em calcular vazões parciais de várias subseções. Isso é feito através da multiplicação da velocidade média da vertical pela área do segmento retangular, definido pelo produto da profundidade média pela soma das semi-distâncias às verticais adjacentes (SANTOS *et al.*, 2001) (Figura 8).

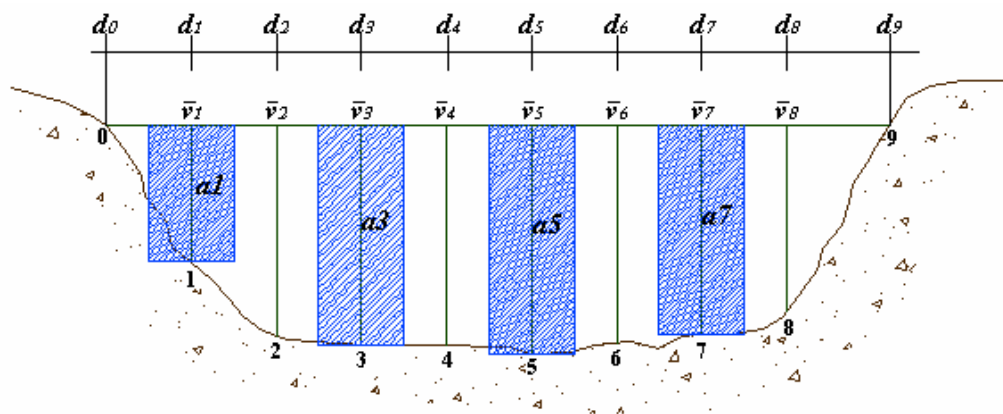


Figura 8 - Esquema ilustrativo do método da meia seção

Neste método, primeiro calcula-se a largura do segmento:

$$L_i = \frac{(d_{i+1} - d_{i-1})}{2} \quad (6)$$

onde L_i é a largura dos segmentos (m); e d_{i+1} e d_{i-1} são as semi-distâncias às verticais

(m). Após, a área dos segmentos pode ser calculada:

$$a_i = L_i h_m \quad (7)$$

onde a_i é a área dos segmentos (m^2); e h_m é a profundidade média dos segmentos

(m). Com isso, a vazão parcial fica:

$$q_i = \bar{v}_i a_i \quad (8)$$

onde q_i é a vazão parcial ($m^3.s^{-1}$); e \bar{v}_i é a velocidade média na vertical (m.s).

Finalmente, obtém-se a vazão total:

$$Q_T = \sum q_i \quad (9)$$

onde Q_T é a vazão total da seção ($m^3.s^{-1}$).

4.2.1.2. Método da seção média

Nesse método calculam-se vazões parciais para as subseções formadas entre as verticais. Considera-se nas extremidades subseções triangulares e as demais trapezoidais. A velocidade é a média aritmética das verticais (SANTOS *et al.*, 2001) (Figura 9).

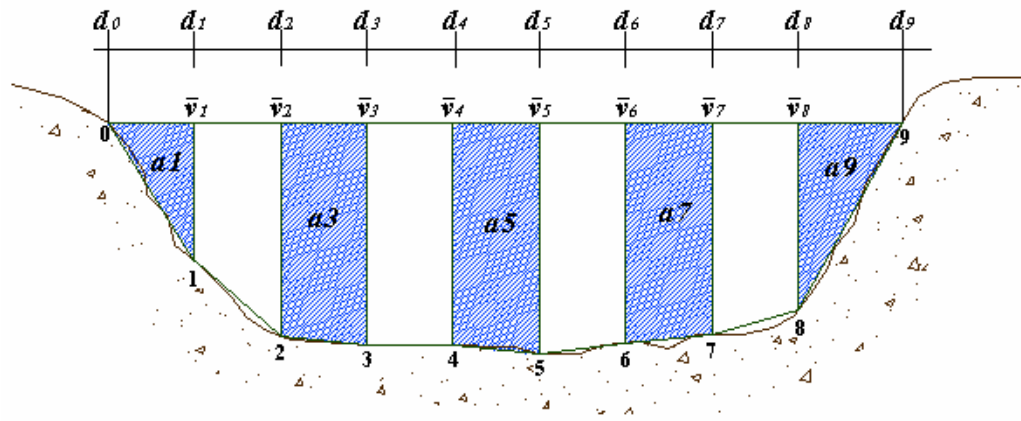


Figura 9 - Esquema ilustrativo do método da seção média

Neste método, primeiramente é calculada a velocidade média na subseção:

$$v_i = \frac{(v_i + v_{i-1})}{2} \quad (10)$$

onde v_i é a velocidade média na subseção ($m.s^{-1}$). Após, a área dos segmentos pode ser calculada:

$$a_i = (d_i - d_{i-1}) \left(\frac{h_i + h_{i-1}}{2} \right) \quad (11)$$

onde h_i e h_{i-1} são as profundidades das verticais (m). Assim, a vazão parcial fica:

$$q_i = v_i a_i \quad (12)$$

Finalmente, com a Equação (9) obtém-se a vazão total.

4.3. MEDIÇÃO DE VAZÃO COM ADCP

O ADCP utilizado para medição de vazão é do fabricante *Sontek*, modelo *RiverSurveyor “Mini System”*. O Anexo 2 mostra mais detalhes sobre esse modelo de ADCP.

Para dar uma maior segurança e praticidade nas medições com o ADCP foi construído um sistema de roldanas com um cabo de aço esticado de um lado a outro do rio. O aparelho era engatado nesse cabo e com facilidade transportado ao longo da seção do rio (Figura 10).

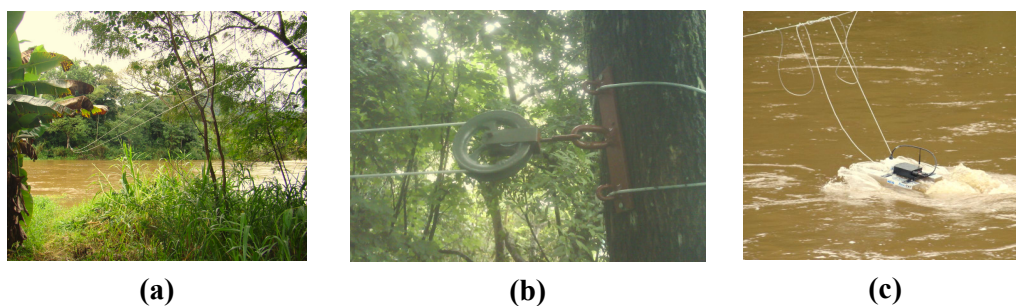


Figura 10 - Sistema de roldanas com cabo de aço. (a) Cabo de aço esticado com detalhe da fixação da roldana; (b) Detalhe da fixação da roldana; (c) Travessia do ADCP pelo cabo de aço

Para cada nível de água escolhido, foram realizadas várias travessias, de ida e de volta, obtendo uma vazão média em cada nível. Em uma das medições com o rio em nível de enchente cada travessia representou uma vazão. Isso aconteceu porque a cada vez que o aparelho chegava de um lado do rio já ocorria uma diminuição de 0,5 cm no nível de água.

O cálculo da vazão total de cada nível foi realizado automaticamente pelo *software RiverSurveyor 4.60* desenvolvido pela própria *Sontek*. Os princípios de configuração de medição desse *software* podem ser vistos no Anexo 3.

4.4. COMPARAÇÃO DOS DADOS DE VAZÃO OBTIDOS ENTRE MOLINETE E ADCP

Após as medições, os dados de vazão obtidos com os dois aparelhos foram comparados. Para isso, identificaram-se as vazões parciais q_i medidas com o molinete e comparadas com as vazões correspondentes em cada perfil gerado com o ADCP.

4.5. TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE

4.5.1. Método de Stevens

Embora existam diversos métodos de extrapolação de curvas de descarga, o presente trabalho apresenta o método de Stevens que utiliza a fórmula de Chezy (Equação 13). Só se aplica esse método em casos de escoamentos pseudo-uniformes

(quase uniformes), seções estáveis e com um número de medições alinhadas (JACCON e CUDO, 1989). Além disso, é adequado para rios largos, onde o raio hidráulico pode ser considerado igual a profundidade média.

$$Q = cA\sqrt{RI} \quad (13)$$

onde c é o coeficiente de Chezy, variável em função do raio hidráulico e da natureza do leito ($m^{1/2}.s^{-1/2}$); A é a área molhada (m^2); R é o raio hidráulico (m); e I é a declividade superficial ($m.m^{-1}$).

Nesta equação, $A\sqrt{R}$ e $c\sqrt{I}$ representam o fator geométrico da seção (que pode ser obtido por levantamentos topobatimétricos) e o fator de declividade, respectivamente. Se $c\sqrt{I}$ é constante na Equação (13), $Q/A\sqrt{R}$ também é constante.

Isso significa que a função $A\sqrt{R} = f(Q)$ é graficamente uma reta que passa pela origem. Dessa forma, essa reta pode ser prolongada até o fator geométrico equivalente ao nível máximo observado.

É preciso ressaltar que para aplicar o método de Stevens, além do escoamento ser quase uniforme, é necessário também ter um perfil estável ou um número suficiente de medições alinhadas.

4.5.2. Sistema STEVENS de ajuste e extrapolação de curvas de descarga

Utilizou-se o *software* STEVENS (Sistema de Ajuste e Extrapolação de Curva de Descarga) que foi desenvolvido por FILHO *et al.* (2003) com o objetivo de facilitar a manipulação da grande quantidade de dados envolvidos no processo de ajuste e extrapolação de curvas de descarga. O sistema é baseado no método de Stevens, sendo adequado para seções com escoamento com controle de canal.

Para realizar a extrapolação é necessário os dados de cota, vazão e levantamento topobatimétrico (distância e profundidade) da seção transversal do rio até a cota máxima que se deseja na extrapolação.

A seguir estão os procedimentos do cálculo da curva de descarga:

- 1) Determinação da curva $A\sqrt{R} = f(h)$;
- 2) Determinação dos fatores geométrico $A\sqrt{R}$ e de declividade $c\sqrt{I}$ para cada medição de vazão disponível;
- 3) Determinação das equações (ajustadas pelo método dos mínimos quadrados) relacionando a cota com o fator de declividade, havendo opção para o ajuste de doze tipos de curvas: $c\sqrt{I} = f(h)$; $\log c\sqrt{I} = f(h)$; $c\sqrt{I} = f(\log h)$; $\log c\sqrt{I} = f(\log h)$, onde $f(h)$ é um polinômio do 1º, 2º ou 3º grau.

Após o cálculo as curvas podem ser visualmente analisadas em escala aritmética e bilogarítmica para eleger os melhores ajustes. O programa permite selecionar e desprezar medições que apresentem grande afastamento da curva, permitindo melhorar o ajuste.

Com um gráfico que relaciona as grandezas vazão e fator geométrico pode-se confirmar a validade do método. Se as medições do ramo superior da curva estiverem alinhadas tendendo a uma reta, a extrapolação por STEVENS é válida.

4.6. OBTENÇÃO DE DADOS DA AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Além dos dados medidos pelo ADCP, também foram utilizadas as medições de vazão feitas na antiga estação fluviométrica de Pirabeiraba. Segundo a ANA, a estação de Pirabeiraba (código 82270050) fica localizada no mesmo local das medições do ADCP. Sua ficha descritiva pode ser vista no Anexo 4. Também, foram utilizados os dados das duas curvas de descarga da estação de Pirabeiraba. Essas curvas foram validadas para dois períodos pela ANA. Todos os dados medidos estão no Anexo 5 e os dados das duas curvas validadas no Anexo 6.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. VERIFICAÇÃO DA CONFIABILIDADE DO ADCP COM USO DE MICROMOLINETE

Para verificação da confiabilidade do ADCP foi realizada uma comparação de dados de vazão medidos com o micromolinete e o ADCP no local da estação. A obtenção desses dados só foi possível em apenas um único nível de água e em parte da seção do rio. Isso aconteceu devido à limitação do micromolinete que só mede até 1,5 m de profundidade. Até a presente data desse trabalho, em todas as campanhas de medição, existiram pontos da seção do rio com profundidade acima de 1,5 m. Portanto, isso impediu que se realizasse uma medição com o micromolinete em toda a seção. Assim, só foi possível medir nas partes mais rasas que estão inteiramente no lado esquerdo do rio. Essas medições foram realizadas no mesmo dia e no mesmo horário. A Tabela 3 mostra os dados obtidos com os dois aparelhos.

Tabela 3 – Dados de vazão obtidos com o micromolinete com o ADCP. DME é a distância da margem esquerda (m), PM a profundidade média (m), VM a velocidade média (m.s^{-1}), AA é a área acumulada (m^2), VA a vazão acumulada ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), M é micromolinete, SM é método da seção média e MS é método da meia seção.

DME		PM		VM		AA			VA		
M	ADCP	M	ADCP	M	ADCP	MS	SM	ADCP	MS	SM	ADCP
7	7,2	0,8	0,63	0,08	0,06	1,35	2,30	2,79	0,12	0,20	0,60
9	8,7	0,8	0,83	0,11	0,36	3,05	3,99	4,15	0,31	0,39	1,00
10	9,8	0,8	0,83	0,11	0,10	3,88	4,81	5,10	0,40	0,48	1,12
11	11,3	0,8	0,83	0,13	0,45	4,71	5,64	6,50	0,51	0,58	1,20
12	12,1	0,8	0,80	0,16	0,24	5,53	6,47	7,14	0,65	0,70	1,40
13	13,2	0,9	0,87	0,16	0,25	6,43	7,33	8,12	0,80	0,84	1,60
14	14,3	0,9	0,89	0,17	0,24	7,36	8,24	9,19	0,95	0,99	1,80
16	15,6	0,9	0,92	0,19	0,15	9,22	10,10	10,43	1,30	1,33	2,00
17	17,2	1,1	1,03	0,21	0,16	10,32	11,12	12,17	1,53	1,54	2,30
19	18,6	1,2	1,04	0,24	0,25	12,73	13,46	13,71	2,07	2,04	2,60
20	19,9	1,4	1,21	0,22	0,22	14,08	14,75	15,36	2,36	2,34	3,00

Ao comparar as velocidades médias observou-se que em geral não houve correlação (Figura 11). Isso pode ter acontecido porque os locais das verticais de velocidade do micromolinete não coincidem exatamente com o mesmo local dos perfis de velocidade do ADCP. Além disso, as profundidades medidas também não são exatamente a mesma. No micromolinete a profundidade é medida diretamente com a haste graduada. Já no ADCP, a profundidade do perfil é calculada por uma interpolação. Nas partes superficiais e de fundo o ADCP não mede.

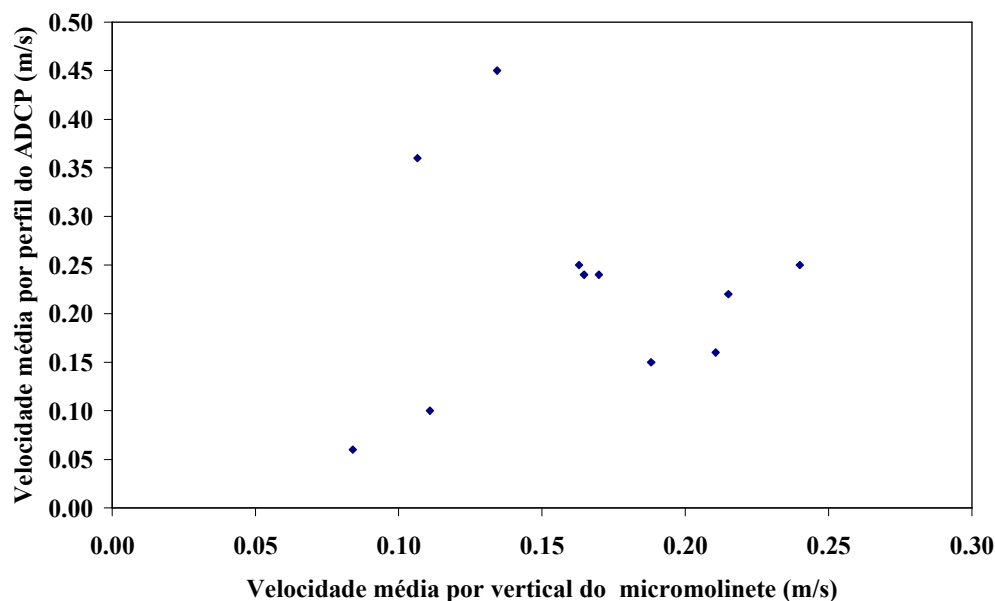


Figura 11 - Comparação entre os dados de velocidade média do micromolinete e ADCP

Ao analisar as áreas acumuladas por cada aparelho, observou-se que há uma proximidade dos valores (Figura 12). Ao relacionar as áreas do ADCP com as áreas calculadas pelos métodos da meia seção e da seção média verificou-se uma tendência de linearização. Ou seja, os dois aparelhos acumulam áreas semelhantes. Também, se observa que o método da meia seção tende a calcular mais área do que o da seção média.

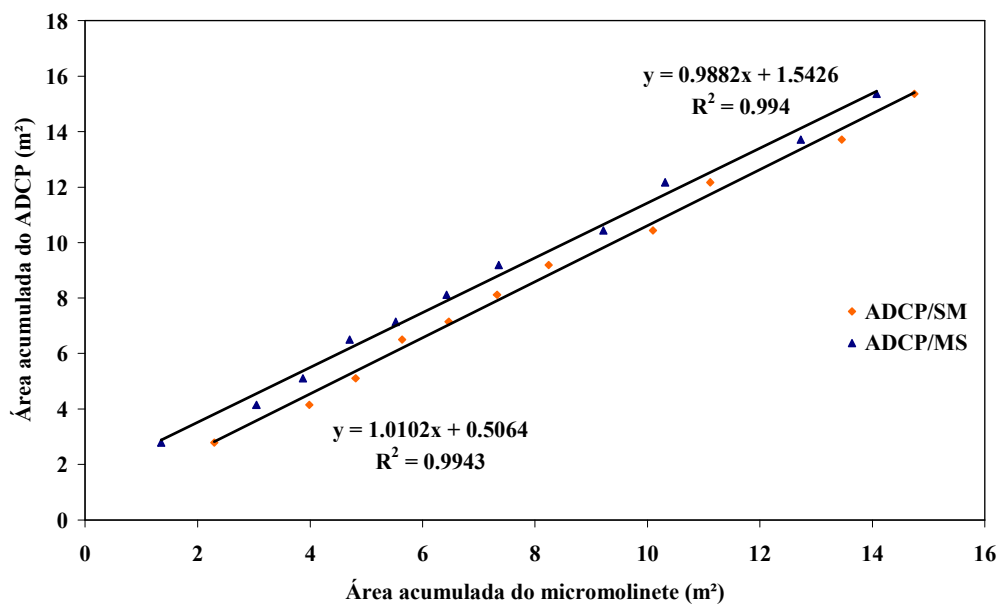


Figura 12 - Áreas acumuladas das medições do micromolinete e ADCP

Pela análise das vazões acumuladas verifica-se que os dois aparelhos estimam valores de vazão muito semelhantes (Figura 13). A diferença entre o micromolinete e o ADCP pode resultar das condições de medição em campo. Com o micromolinete foi realizada medição à vau, podendo haver interferência do operador no fluxo de água medido. Além disso, a direção do caminho percorrido pelo ADCP na seção do rio não foi exatamente igual ao do micromolinete.

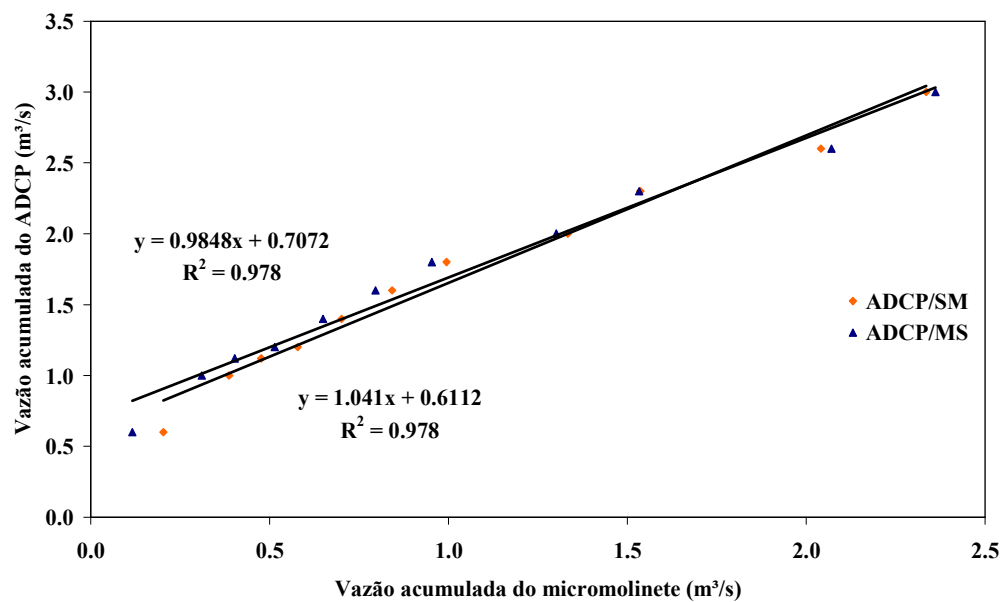


Figura 13 - Vazões estimadas acumuladas do micromolinete e ADCP

5.2. COMPARAÇÃO DOS DADOS DA ANA COM OS DADOS DO ADCP

Os dados das curvas validadas pela ANA são referentes aos seguintes períodos: 12/10/1985 a 21/10/1997 e 22/10/1997 a 31/12/2001. Todas as medições juntamente com as duas curvas validadas se encontram na Figura 14. Observa-se que, apesar de existirem poucas medições, os dados do ADCP estão muito próximos das duas curvas, o que indica uma tendência adequada das medições.

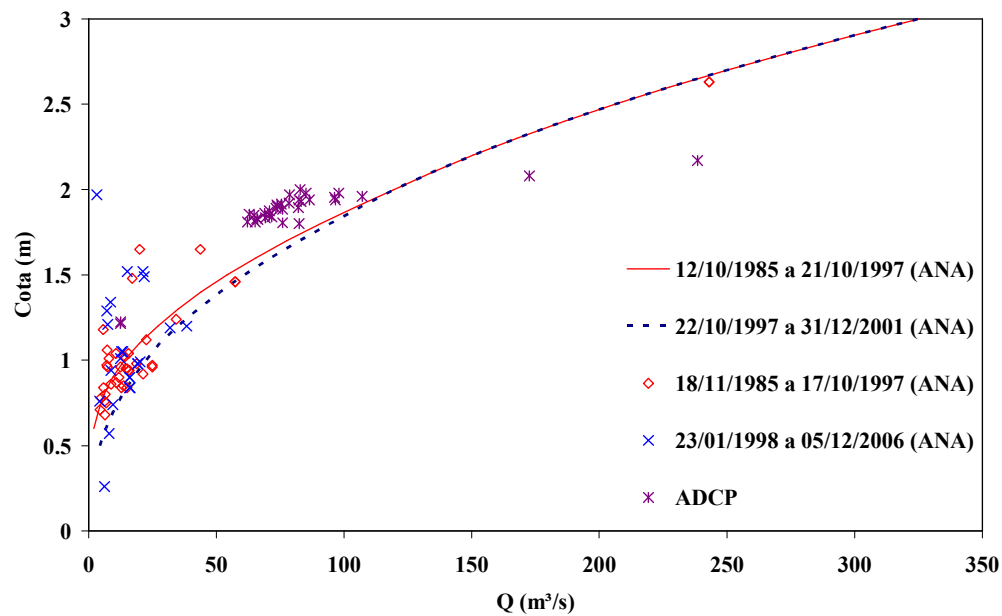


Figura 14 - Dados medidos em conjunto com as curvas validadas

A fim de reduzir a dispersão dos dados em torno do raio de curvatura e visualizar o traçado das extrapolações das curvas, tanto nos baixos como altos níveis de água, plota-se o gráfico da Figura 14 em coordenadas logarítmicas (Figura 15). Nessa figura, se observa que as extrapolações superiores tendem a um alinhamento. Já nas cotas menores as extrapolações das curvas se desencontram. Essa diferença entre as partes altas e baixas pode ter acontecido devido a pouca quantidade de dados nas cotas altas. Ou muitos erros de medição nas cotas baixas, já que os dados estão muito dispersos nas baixas vazões. O que pode ter provocado a dispersão dos pontos é a mudança da seção de medição ou até de controle do canal. Ao contrário, pode-se ver que as medições do ADCP se concentram tendendo a um alinhamento. Essa tendência de alinhamento pode ter ocorrido porque das 34 medições, 32 foram realizadas no mesmo dia num único evento de vazão. Além disso, houve pouca variação das cotas entre cada medição, o que concentrou os pontos.

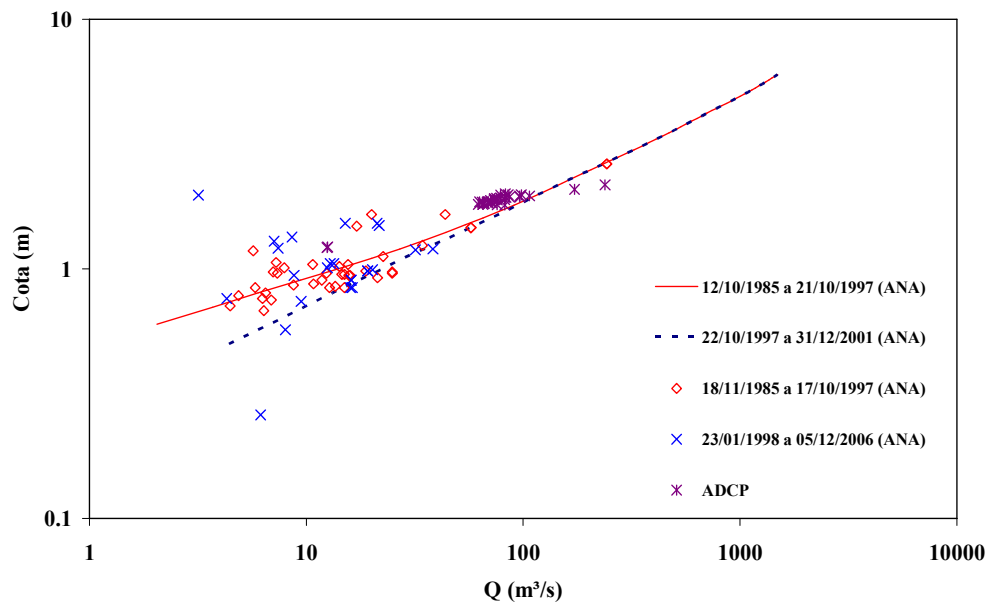


Figura 15 - Plotagem das curvas da ANA em escala logarítmica

5.3. TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE

Foi utilizado o *software* STEVENS para traçar e extrapolar uma nova curva de descarga, desta vez com os dados do ADCP inclusos. Doze diferentes curvas foram obtidas com base na relação da cota com o fator declividade. Três curvas foram selecionadas, denominadas de: Curva Stevens 1; Curva Stevens 4 e Curva Stevens 10. Essas curvas foram selecionadas segundo os critérios de seleção estabelecidos por FILHO *et al.* (2003). A Curva Stevens 1 é do tipo $c\sqrt{I} = f(h)$, a Curva Stevens 4 é do tipo $\log c\sqrt{I} = f(h)$ e a Curva Stevens 10 é do tipo $\log c\sqrt{I} = f(\log h)$. Todas são polinômios do 1º grau. Essas curvas foram validadas para o período de 12/10/1985 a 14/05/2008. A Figura 16 mostra as Curvas Stevens 1, 4 e 10 juntamente com as curvas validadas pela ANA. Os dados de cota e vazão das extrapolações do programa Stevens são mostrados na tabela do Anexo 7.

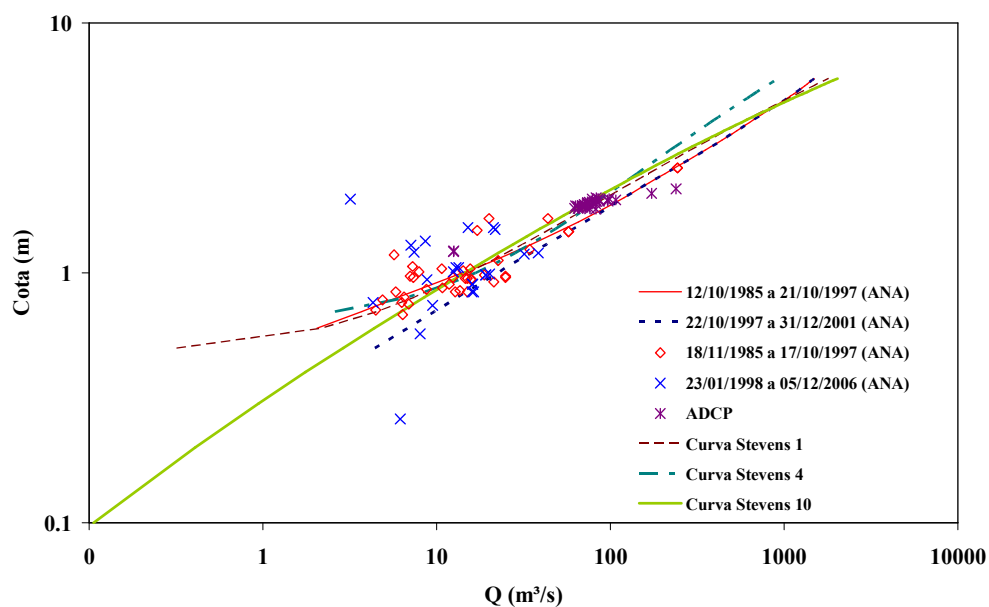


Figura 16 - Curvas de descargas geradas e extrapoladas pelo *software* Stevens em comparação com as curvas validadas pela ANA

Na Figura 16 observa-se que as Curvas Stevens 1 e 4 estimam valores menores de vazão do que a Curva Stevens 10, que foi extrapolada para cotas mais baixas. Nas altas vazões todas as curvas tendem a um alinhamento. Além disso, as três curvas do Stevens passam nos pontos do ADCP. Isso mostra que as medições do ADCP estão adequadas à série dos dados e podem ser confiáveis.

As Figuras 17, 18 e 19 separadamente mostram as Curvas Stevens 1, 4 e 10 em escala aritmética. Para cotas baixas as curvas 1, 4 e 10 foram extrapoladas até 0,5, 0,7 e 0,1 metros respectivamente. Para cotas altas, as três curvas foram extrapoladas até 6 metros.

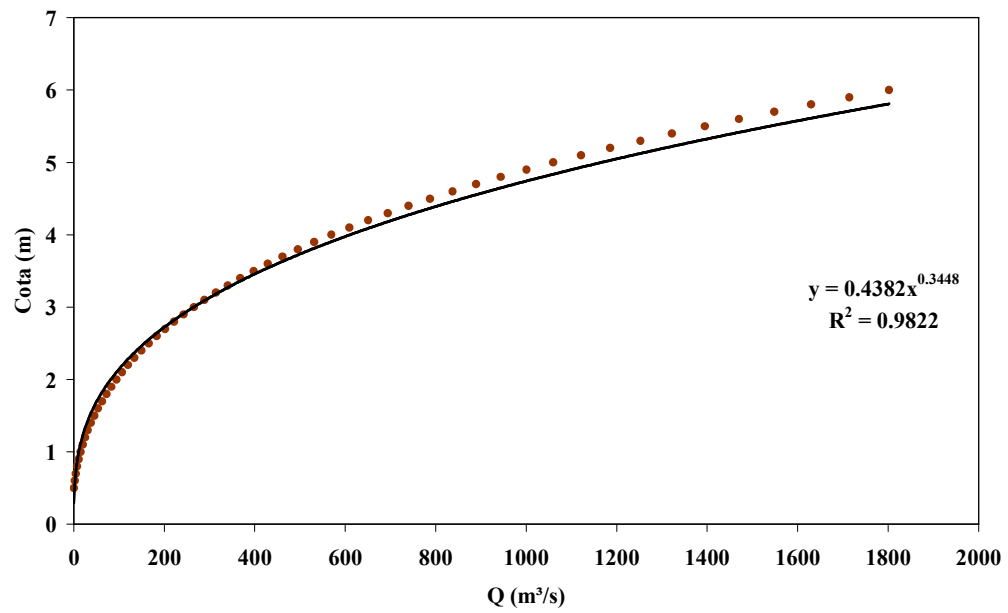


Figura 17 - Curva Stevens 1

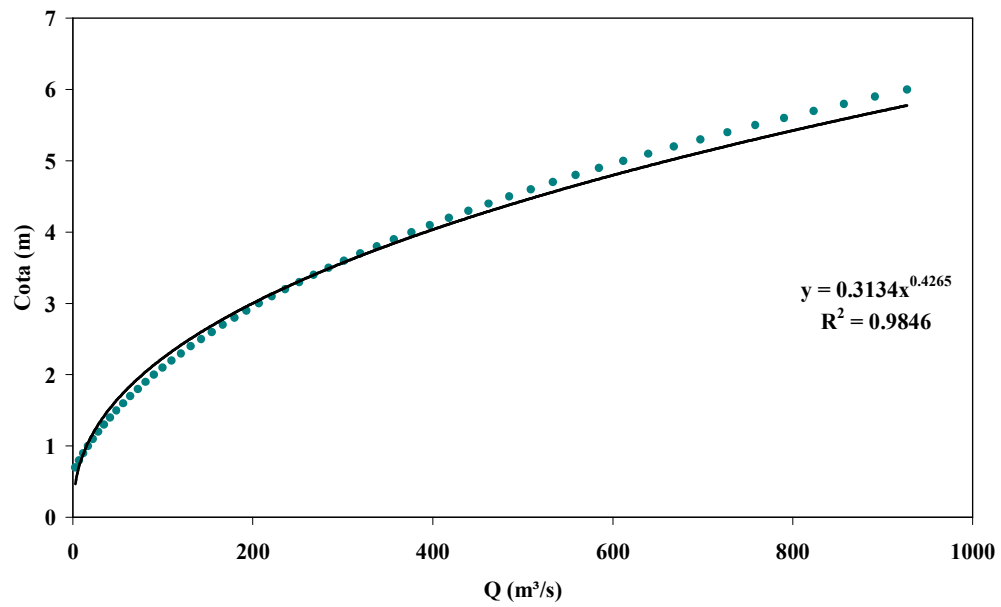


Figura 18 - Curva Stevens 4

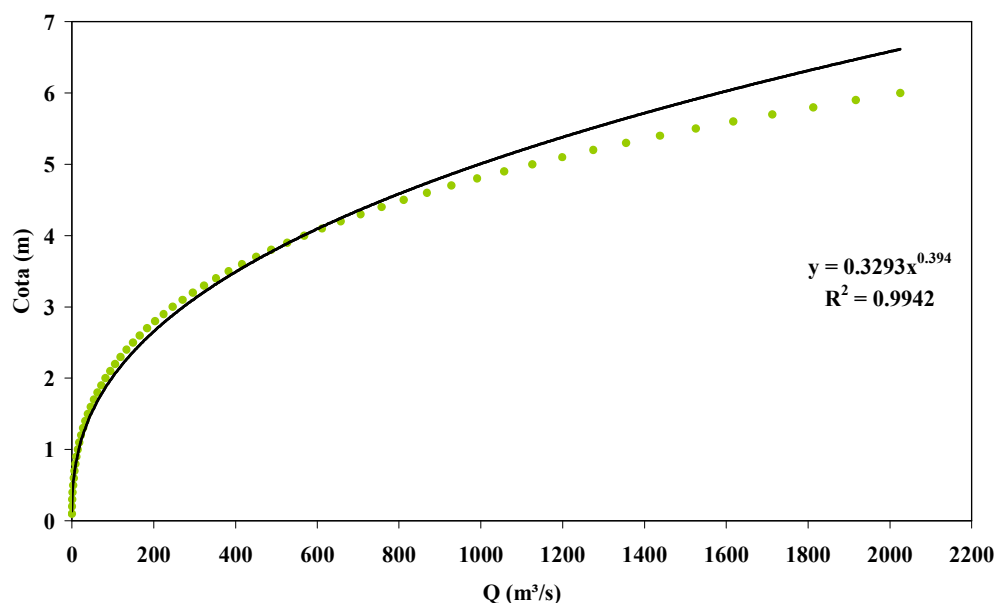


Figura 19 - Curva Stevens 10

Com os dados de cota da tabela do Anexo 5 foram calculadas vazões com as equações das curvas Stevens 1, 4 e 10. Ao comparar essas vazões calculadas com as vazões medidas em campo (da mesma tabela) obtiveram-se novamente três curvas, denominadas de: Curva Stevens 1C, Curva Stevens 4C e Curva Stevens 10C (Figura 20). A letra “C” dessas denominações é referente à palavra “Cálculo”, devido às vazões terem sido calculadas pelas equações dessas curvas.

Pela Figura 20 percebe-se que é muito difícil determinar qual das três curvas é a melhor. Somente com mais medições em cotas menores e/ou maiores daquelas já medidas é que talvez se consiga observar qual curva é a mais adequada. Ou seja, qual curva ficará mais próxima das novas medições. Por outro lado, ao calcular o somatório das diferenças entre todas as vazões medidas e calculadas (com suas respectivas cotas) obteve-se, em módulo, o menor somatório na curva Stevens 1C. Os resultados desses somatórios foram: 1150,20 m^3/s (Stevens 1C), 1264,73 m^3/s (Stevens 4C) e 1184,54 m^3/s (Stevens 10C). Isso significa que a Stevens 1C é a que mais se aproxima dos pontos medidos. Também, se for considerado o ADCP como indicador da melhor curva, por esse mesmo somatório das diferenças, verifica-se que a curva Stevens 1C também é a mais próxima das medições. Os resultados foram: 471,64 m^3/s (Stevens 1C), 552,62 m^3/s (Stevens 4C) e 503,55 m^3/s (Stevens 10C). A Figura 21 mostra os valores de vazões acumuladas por esses somatórios.

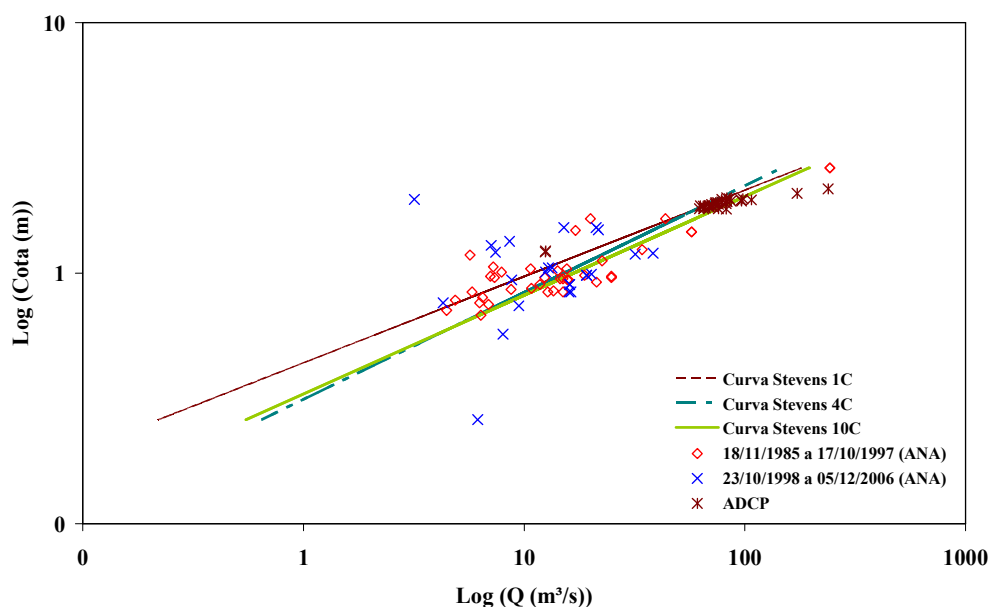


Figura 20 - Comparação de vazões calculadas pelas equações das curvas Stevens com as vazões medidas em campo

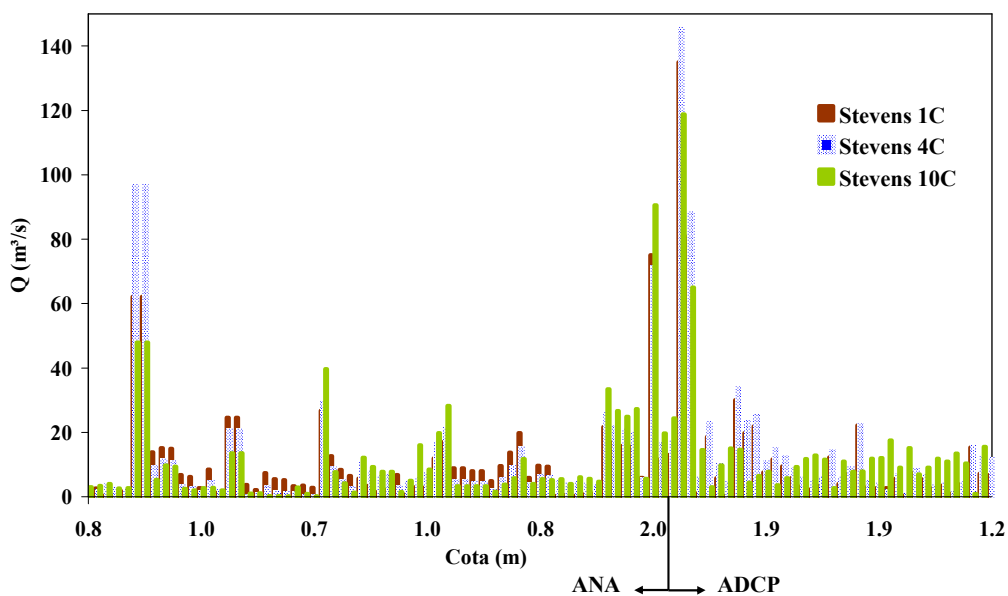


Figura 21 - Valores acumulados por somatórios de diferenças de vazões calculadas com vazões medidas

No mês de abril de 2008, o Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal de Santa Catarina (LABHIDRO - www.labhidro.ufsc.br) instalou uma estação meteorológica e fluviométrica no antigo ponto da estação Pirabeiraba, ou seja, dentro

da ETA - CAJ e ao lado da estação de réguas linimétricas. Com o objetivo de gerar uma pequena série de vazões com as equações das três curvas (Curva Stevens 1C, 4C e 10C) utilizaram-se os dados de nível da estação fluviométrica (medidos com um sensor de nível) do LABHIDRO. Obtiveram-se assim, três hidrogramas (Figura 22). Os dados são do período de 26/03/2008 até 15/06/2008.

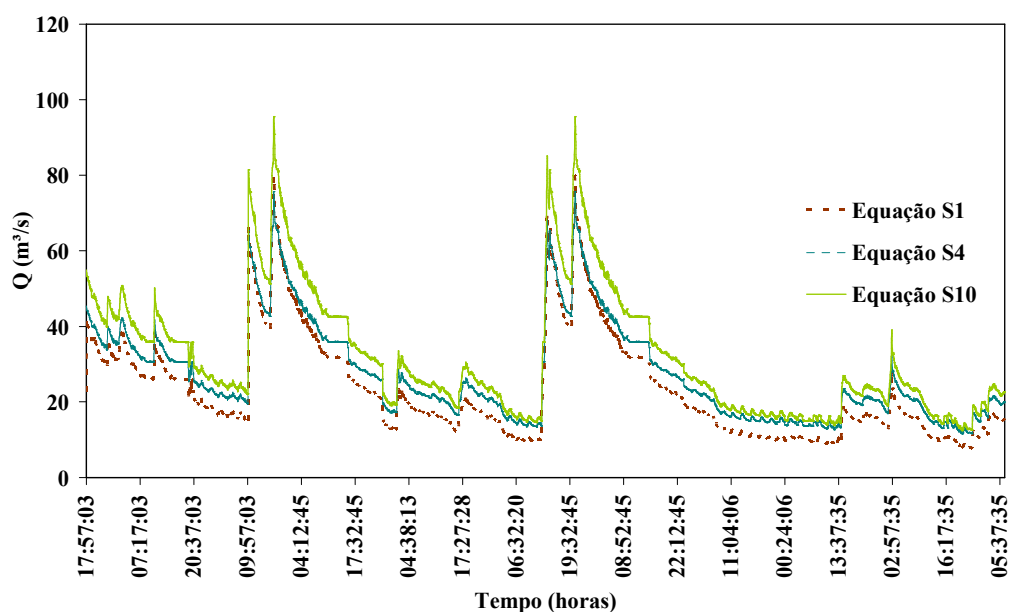


Figura 22 - Hidrogramas da série de vazões da estação ETA-CAJ do LABHIDRO

A Figura 22 mostra que as vazões calculadas pelas três equações são muito próximas. Mas, mesmo assim, entre os três hidrogramas existe uma incerteza de qual deles é o mais adequado para a BHRC. Principalmente nas vazões menores onde a incerteza parece ser ainda maior.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O ADCP como ferramenta de apoio no traçado e extrapolação da curva-chave do Rio Cubatão do Norte demonstrou alta confiabilidade. Isso foi verificado fazendo uma comparação dos dados de vazão do ADCP com dados medidos com um micromolinete. Quando foram comparados os dados de velocidades de cada aparelho, não se observou uma proximidade dos valores. Isso pode ter acontecido porque o ADCP não mediu exatamente no mesmo ponto do micromolinete, o que em campo é praticamente impossível de se conseguir. Porém, ao comparar as áreas acumuladas e principalmente as vazões acumuladas ao longo da seção do rio, observou-se que os dados do ADCP ficam muito próximos do micromolinete. Portanto, a diferença entre o micromolinete e o ADCP pode ser resultado das condições de medição em campo. Com o micromolinete foi realizada medição à vau, podendo haver interferência do operador no fluxo de água medido. Além disso, a direção do caminho percorrido pelo ADCP na seção do rio não foi exatamente igual ao do micromolinete.

Para o traçado e extrapolação da curva chave foram utilizados dados medidos em campo com o ADCP e dados medidos pela ANA. Com o apoio do *software* STEVENS foram geradas doze curvas. Visualmente, foram selecionadas três curvas que melhor se adequaram aos dados medidos, denominadas de: Curva Stevens 1, Curva Stevens 4 e Curva Stevens 10. Para cotas baixas, as curvas 1, 4 e 10 foram extrapoladas até 0,5, 0,7 e 0,1 metros respectivamente. Para cotas altas, as três curvas foram extrapoladas até 6 metros. Plotando-se em um mesmo gráfico as três curvas Stevens, as medições do ADCP e da ANA e ainda duas curvas-chave validadas pela ANA, foi observado que todas as curvas passam pelos dados obtidos com o ADCP. Isso mostrou que as medições do ADCP parecem estar adequadas à série dos dados e podem ser confiáveis.

Ao comparar as vazões medidas em campo com as vazões calculadas com as equações das curvas Stevens obtiveram-se novamente três curvas, denominadas de: Curva Stevens 1C, Curva Stevens 4C e Curva Stevens 10C. Ao considerar o ADCP como indicador, a Curva Stevens 1C foi a que mais se aproximou do conjunto das medições. Mas mesmo assim, ainda existe uma incerteza de qual curva é a mais adequada.

Ao calcular três hidrogramas com uma pequena série de dados da estação fluviométrica do Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal de Santa Catarina também se verificou uma incerteza da curva mais adequada principalmente nas menores vazões.

O ADCP se mostrou uma ferramenta muito eficaz e eficiente nesse processo de construção de uma curva-chave. Percebeu-se que com apenas um evento de vazão, observado no Rio Cubatão do Norte, é possível saber a curva-chave desse rio. Isso porque as medições podem ser realizadas rapidamente, quando comparadas com as medições de um micromolinete ou molinete. A facilidade de se medir um evento de extrema vazão foi uma das principais características observadas nas medições desse estudo. Com apenas a instalação de um cabo de aço na seção do rio e um único evento foi possível obter quase todas as medições desse trabalho. Ao contrário, pelos dados da ANA, têm-se medições no Rio Cubatão do Norte desde 1985 até 2006 feitas com molinete.

Com o banco de dados utilizados nesse trabalho é muito difícil determinar qual das três curvas é a melhor. As três podem representar valores de vazões satisfatórios. É preciso mais medições nesse ponto de estudo do Rio Cubatão do Norte. Tanto em cotas menores e/ou maiores das que já foram medidas. Assim, observando as extrapolações, talvez se consiga indicar qual curva ficará mais próxima das novas medições e conseqüentemente definir a melhor equação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas – HIDROWEB. Séries Históricas – estações pluviométricas e fluviométricas. Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/>. 2008. Acesso em: jan. 2008
- AZEVEDO NETTO, J. M. et al. *Manual de hidráulica*. 8. ed. São Paulo – SP, 2003. 669p.
- BRUSA L.C.; CLARKE R.T. *Erros envolvidos na estimativa da vazão máxima utilizando curva-chave. Caso de estudo: bacia do rio ibicuí-rs*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Vol. 4, nº 3, 1999. p.91-102.
- BUBA, H. ; SANTOS, I. dos; REGINA, J.V. Batimetria qualitativa com ADCP: levantamento do canal de adução da UHE Salto Santiago. In: Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14, Aracaju, 2001.
- CLARK, R.T.; SILVA DIAS, P.L.da; *As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos*. CT Hidro – Secretaria técnica do fundo setorial de recursos hídricos, 13 de novembro de 2002.
- CCJ, Rio Cubatão Joinville. *Aspectos Físicos da Bacia Do Cubatão*. Disponível em <http://www.cubataojoinville.org.br>. Acesso em março de 2008.
- FILHO, D.P.; SANTOS, I. dos; FILL, H.D. ; *Sistema de Ajuste e Extrapolação de Curva de Descarga – Stevens* ” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – Paraná, 23 a 27 de novembro de 2003.
- FILHO, G.L.T.; VIANA, A.N.C.; CAETANO, G.T.; SANTOS, R.M. *O Uso do Adcp em Pequenos e Médios Cursos D’água*. In: Grupo de trabalho sobre hidromecânica - 5ª Reunião, Montevideu – Uruguai, 1999, 10p.
- GAMARO, P. E. *III Curso de Medidores de Vazão Acústica Doppler*, de 05 a 09 de novembro de 2007, Foz do Iguaçu-PR. Apostila Módulo Básico, Revisão 1.0, 2007.
- GLOSSÁRIO DE TERMOS HIDROLÓGICOS, Versão 2.0.1, Agência Nacional das Águas (ANA), 2002.
- GONÇALVES, M.L.; ZANOTELLI, C.T.; OLIVEIRA, F.A. *Diagnostico e Prognostico das Disponibilidades e Demandas Hídricas do Rio Cubatão do Norte*. Joinville – SC; UNIVILLE, 2006. 92p.
- IBIAPINA, A.V. ; FERNANDES, D.; CARVALHO, D.C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M.C.A.M.; GUIMARÃES, V.S. *Evolução da hidrometria no Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/121-138.html>>. Acesso em: agosto de 2007.
- JACCON, G.; CUDO, K.J. (1989). *Curva-chave: análise e traçado*, Brasília, DNAEE, 1989. 273p.
- MENDIONDO, E.M. *Contribuições da análise de incertezas para a recuperação ambiental de bacias pela abordagem interdisciplinar de geobiohidrologia*. Porto Alegre - RS, 2001. 287p.

OTT. *Instrucciones de manejo: minimolinete C2*. s.a.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F.C. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba - Pr: Lactec, 2001. 372 p.

SIMPSON, M. R. “*Discharge Measurement Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current*”. United States Geological Survey – USGS, Open-file: 2001, Report 01-1.

SONTEK. “*Acoustic Doppler Profiler*”. Technical Documentation: 2000.

ANEXOS

ANEXO 1

MINIMOLINETE *OTT C2*

O minimolinete *OTT C2* (Figura A1(a)) foi projetado especificamente para medição de vazão em pequenos rios, pequenos canais de laboratório, etc. Esse modelo é utilizado para medições de baixa velocidade de fluxo e com baixos níveis de água. A profundidade mínima para o uso do minimolinete é de aproximadamente 4 cm. A velocidade do fluxo suportada pelo *OTT C2* varia de 0,025 m/s até 5 m/s, conforme for o tamanho da hélice acoplada ao minimolinete. O contador de revoluções da hélice é o modelo Z30 do próprio fabricante (Figura A1(b)).



Figura A1 – (a) Minimolinete *OTT C2*; (b) Contador de revoluções Z30.

Para esse trabalho foi utilizado o *OTT C2* com uma hélice nº 2 (50 mm de diâmetro). Essa hélice mede de 0,030 a 2,0 m/s. As Equações (A1) e (A2) mostram como é feito o cálculo da velocidade para a hélice nº 2.

$$V = 0,1041N + 0,012 \quad \text{para } N \leq 4,0 \quad (\text{A1})$$

$$V = 0,1021N + 0,020 \quad \text{para } 4,0 \leq N \leq 19,43 \quad (\text{A2})$$

onde N é o numero de revoluções por segundo da hélice. A Equação (A3) mostra como se calcula o valor de N .

$$N = \frac{U}{t} \quad (\text{A3})$$

onde U é o numero de revoluções; e t é o tempo (s).

ANEXO 2

RIVERSURVEYOR "MINI" SYSTEM

O sistema "*Mini*" *RiverSurveyor* (comumente chamado de mini-ADCP ou mini-ADP, conforme for o fabricante do aparelho) tem um diâmetro de 10 cm e pesa cerca de 4 kg (Figura A2(a)). O pequeno diâmetro reduz significativamente os distúrbios causados pelo fluxo durante o arraste do transdutor na água. Isto é uma importante vantagem para medição em águas rasas. O mini-ADCP pode ser utilizado tanto em um barco ou em um sistema chamado de *RiverCat Integrated Catamaran System*, tipo de sistema utilizado por esse estudo.(Figura A2(b)).

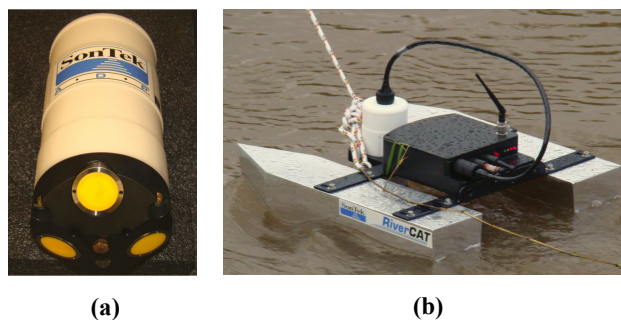


Figura A2 – (a) RiverSurveyor "Mini" System, 1.5 MHz; (b) RiverCat Integrated Catamaran System with internal GPS.

O *RiverCat* é um sistema próprio para coleta de dados de vazão em rios. Ele é projetado para o uso em rios onde medições com barco são difíceis ou inseguras. A medição pode ser feita simplesmente rebocando o aparelho de uma passagem qualquer próxima do rio, ligado a duas cordas por duas pessoas cada uma de um lado do rio ou ainda usando um sistema de roldanas, com feito nesse estudo. O sistema *RiverCat* é composto pelo mini-ADCP e por um modem eletrônico (pacote de alimentação tipo "caixa preta" alojado no *catamaran*). Em tempo real os dados do *RiverCat* são enviados via rádio modem ao computador que através de um *software* próprio grava os dados no disco rígido.

O mini-ADCP opera entre 12-24 volts e nas frequências de 1,5 MHz e 3,0 MHz. A Tabela A1 mostra algumas especificações e configurações disponíveis para cada frequência.

Tabela A1 - Especificações e configurações do "Mini" *RiverSurveyor*

Frequência (MHz)	Extensão do perfil (m)	Tamanho da célula (m)	Distância <i>Blanking</i> (mínima) (m)	Profundidade <i>Bottom-track</i> (máxima) (m)
1,5	0,9 a 25	0,25 a 4	0,4	30

Sontek (2000)

ANEXO 3

SOFTWARE RIVERSURVEYOR 4.60

O software *Riversurveyor* 4.6 foi desenvolvido pela *Sontek* e compatível com o sistema operacional Windows (2000, NT, ME, XP e Vista). Esse programa coleta os dados do ADCP, exibe-os em tempo real e armazena-os em arquivos específicos permitindo um processamento e análise posterior à medição. Entre as principais funções desenvolvidas por esse programa estão: coleta dados de velocidade de corrente da água, cálculo da área da seção medida, cálculo da descarga total, exibe o perfil de batimetria da seção, exibe o perfil de velocidades da água, mostra a velocidade e direção do barco do ADCP, exibe a qualidade dos dados no momento em que são coletados, calcula o número de células de profundidade válidas, etc. A Figura A3 mostra o *Layout* do *software*.

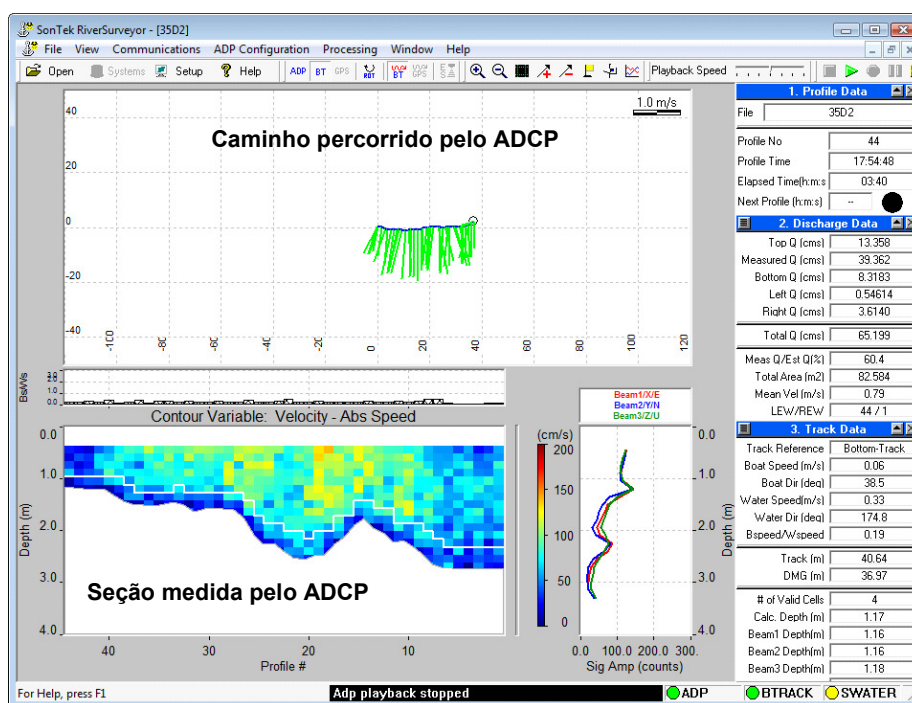


Figura A3– *Layout* do *Riversurveyor* versão 4.6

Para realização da medição inicialmente é feita uma comunicação do ADCP com o *Riversurveyor* 4.6 via sinal de rádio. Após inicia-se uma etapa de configuração do ADCP na qual são introduzidos dados iniciais como: intervalo médio para lançamento dos pulsos acústicos, sistemas de coordenadas (ENU), declinação magnética, profundidade máxima, tamanho das células de profundidades, etc. Também, é necessário sincronizar o programa com o horário e a data do computador. Ao iniciar a gravação dos dados é preciso informar a margem de início da medição (direita ou esquerda, olhando para jusante do rio), e a distância da margem até o ADCP quando houver no mínimo duas células de profundidade válidas (ou seja, já

passou da parte com águas rasas). O cálculo da vazão total é feito após a medição.

ANEXO 4

FICHA DESCRITIVA DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA PIRABEIRABA

Essa ficha foi enviada pela ANA via correio eletrônico. Nessa ficha se encontram as informações da estação fluviométrica Pirabeiraba. A Tabela A2 mostra os dados gerais da estação.

Tabela A2 – Dados gerais da estação Pirabeiraba

UNIDADE ANEEL	RIO Cubatão	EM Pirabeiraba	CODIGO 82270050	
MUNICÍPIO Joinville	ESTADO SC	SUB-BACIA 82	DRENAGEM GERAL Oceano Atlântico	
ÁREA DE DRENAGEM 286,0 (km²)	LATITUDE 26°10'48''	LONGITUDE 48°56'22''	ALTITUDE(m) ±100	
REFERÊNCIA CARTOGRÁFICA Mapa do DSG (1981)	FOLHA Pirabeiraba (MI-2870/1)		ESCALA 1 : 50.000	
ESTAÇÃO	TIPO	DATA INSTALAÇÃO	DATA EXTINÇÃO	DATA REINSTALAÇÃO
FLUVIOMÉTRICA	F	00/1985		
FLUVIOGRÁFICA				
SEDIMENTOMÉTRICA				
QUALIDADE DAS ÁGUAS	Q			
X	COM MEDIÇÃO DE DESCARGA			SEM MEDIÇÃO DE DESCARGA

LOCALIZAÇÃO: A estação localiza-se no rio Cubatão na ETA CASAN.

ACESSIBILIDADE: Pela rodovia BR280 no km 6 na ETA CASAN em Pirabeiraba.

DESCRIÇÃO: A estação está localizada na margem direita do rio Cubatão. É composta de um lance de régua esmaltada: L1=0-6m. Possui duas RNs: RN3=6401mm e RN4=5734mm. Existe uma seção medição 30m a jusante das régua.

PROCESSO DE MEDIÇÃO: Molinete, cabo de aço e barco.

POTAMOGRAFIA: O rio Cubatão nasce na parte oriental da Serra do Mar no município de Joinville, desenvolvendo-se primeiramente na direção geral sul e logo na direção geral leste até sua desembocadura no rio São Francisco do Sul.

CARACTERÍSTICAS DO TRECHO: Retilíneo.

NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS: Areia e pedra com média inclinação.

NATUREZA DO LEITO: Rochoso (seixo rolado).

CONTROLES (TIPO E LOCALIZAÇÃO): Nível baixo, corredeira e nível alto, curva.

COTA DE TRANSBORDAMENTO (na MD e ME): MD=5,0m e ME=3,5m.

POSIÇÃO EM RELAÇÃO À REDE: É a única estação mais a jusante no rio Cubatão.

NOME COMPLETO DO OBSERVADOR: Manoel Bento Rodrigues

ENDEREÇO: Rodovia BR280 km 6, ETA CASAN – CEP 89201-972

CIDADE / ESTADO: Joinville/SC

ENTIDADE OPERADORA: SDM/EPAGRI

HIDROTÉCNICO CAMPO: Márcio Locks/Epagri

HIDROT. ESCRITÓRIO: Denise Formigoni/Epagri

DATA DA FICHA: 23/01/2005

A Figura A4 mostra as réguas linimétricas da estação de Pirabeiraba.

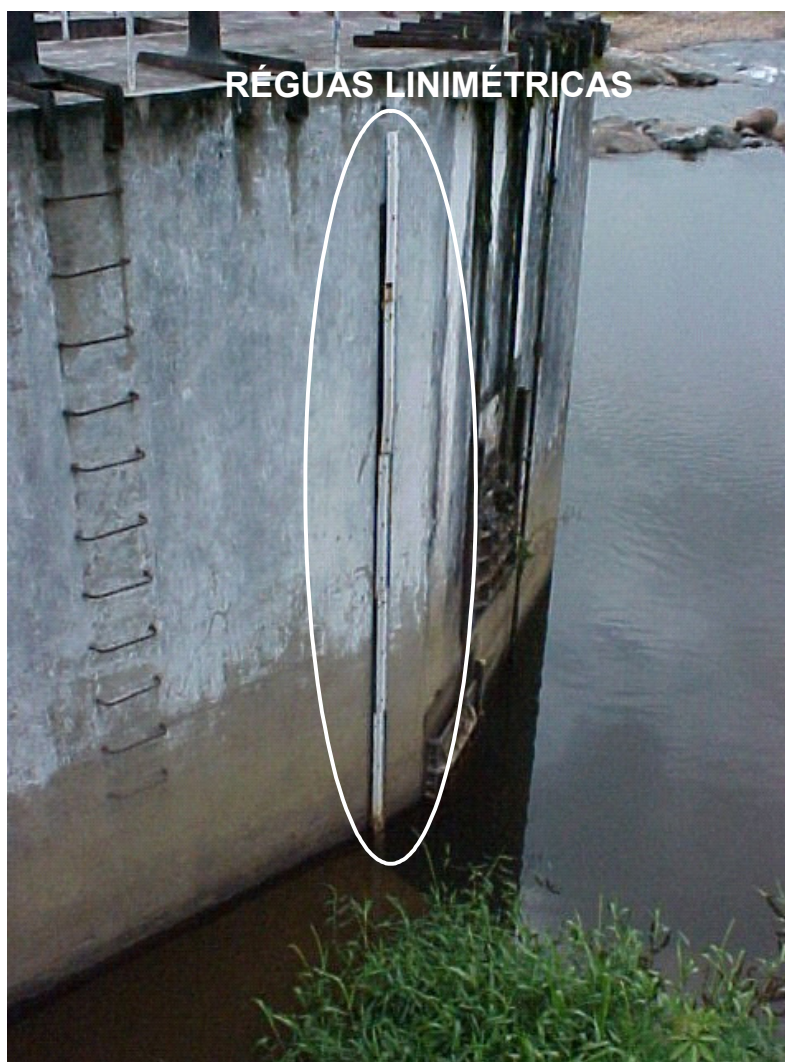


Figura A4 – Lance de réguas da estação fluviométrica de Pirabeiraba

A Figura A5 mostra o croqui de localização da estação de Pirabeiraba.

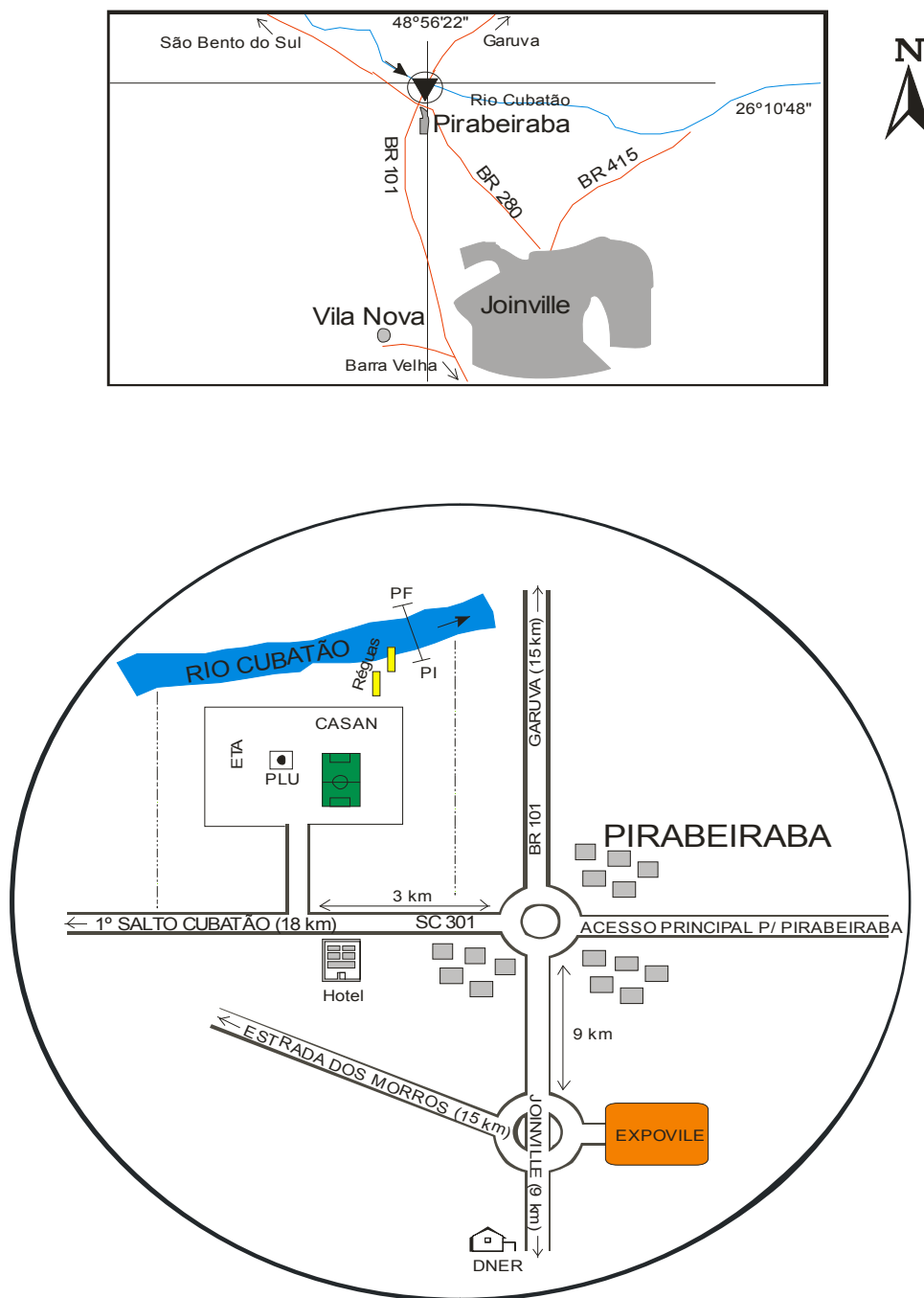


Figura A5 – Croqui de localização da estação Pirabeiraba

ANEXO 5

TABELA DE DADOS MEDIDOS

	Data	A (m ²)	L (m)	C (m)	V_m (m/s)	P_m (m)	Q (m ³ /s)
ADCP	29/04/08	224,08	92,30	2,170	1,06	2,43	238,52
ADCP	29/04/08	249,87	101,00	2,080	0,69	2,47	172,62
ADCP	29/04/08	87,02	43,90	2,000	0,95	1,98	82,80
ADCP	29/04/08	106,06	53,50	1,980	0,92	1,98	97,97
ADCP	29/04/08	89,82	47,00	1,980	0,95	1,91	85,15
ADCP	29/04/08	88,83	47,90	1,970	0,89	1,85	78,70
ADCP	29/04/08	105,20	54,30	1,960	1,02	1,94	107,15
ADCP	29/04/08	103,44	53,00	1,955	0,93	1,95	96,32
ADCP	29/04/08	103,81	53,60	1,940	0,93	1,94	96,66
ADCP	29/04/08	94,41	50,20	1,940	0,87	1,88	82,35
ADCP	29/04/08	92,97	48,30	1,940	0,93	1,92	86,50
ADCP	29/04/08	90,95	48,90	1,930	0,91	1,86	83,20
ADCP	29/04/08	87,02	47,30	1,920	0,90	1,84	78,53
ADCP	29/04/08	86,58	46,50	1,915	0,87	1,86	75,47
ADCP	29/04/08	93,40	49,50	1,910	0,79	1,89	73,81
ADCP	29/04/08	84,28	45,80	1,900	0,88	1,84	73,93
ADCP	29/04/08	93,00	49,90	1,895	0,88	1,86	82,15
ADCP	29/04/08	83,45	45,00	1,890	0,88	1,85	73,36
ADCP	29/04/08	86,79	47,20	1,885	0,88	1,84	76,00
ADCP	29/04/08	94,09	49,90	1,800	0,88	1,89	82,40
ADCP	29/04/08	85,06	46,60	1,875	0,83	1,83	70,81
ADCP	29/04/08	82,39	47,30	1,860	0,84	1,74	68,91
ADCP	29/04/08	79,41	46,00	1,855	0,79	1,73	62,93
ADCP	29/04/08	85,20	48,60	1,850	0,83	1,75	70,81
ADCP	29/04/08	82,07	47,40	1,850	0,79	1,73	64,76
ADCP	29/04/08	92,33	50,20	1,840	0,78	1,84	71,75
ADCP	29/04/08	87,36	48,60	1,835	0,79	1,80	69,18
ADCP	29/04/08	84,66	46,90	1,830	0,78	1,81	65,90
ADCP	29/04/08	86,09	48,30	1,825	0,77	1,78	66,20
ADCP	29/04/08	86,27	48,40	1,810	0,72	1,78	62,18
ADCP	29/04/08	82,58	47,00	1,810	0,79	1,76	65,20
ADCP	29/04/08	103,39	56,70	1,805	0,73	1,82	75,99
ADCP	13/05/08	53,30	40,00	1,225	0,24	1,33	12,54
ADCP	14/05/08	56,00	46,60	1,215	0,24	1,20	12,48
ANA	18/11/85	17,70	19,00	0,800	0,37	0,93	6,49
ANA	20/02/86	32,20	23,00	1,020	0,44	1,40	14,20
ANA	17/05/86	21,20	19,00	0,780	0,23	1,12	4,88
ANA	16/08/86	23,65	22,20	0,710	0,19	1,07	4,46
ANA	17/11/86	29,80	24,00	0,860	0,29	1,24	8,74
ANA	15/02/87	114,20	50,00	2,630	2,13	2,28	243,00
ANA	15/02/87	114,40	50,00	2,630	2,13	2,29	243,00
ANA	23/02/87	49,30	27,00	1,240	0,70	1,83	34,30
ANA	18/05/87	43,30	25,00	0,960	0,58	1,73	24,90
ANA	18/05/87	43,25	25,00	0,970	0,58	1,73	24,90
ANA	19/08/87	40,30	25,00	0,850	0,34	1,61	13,60
ANA	17/11/87	40,20	25,00	0,840	0,32	1,61	12,80

Continuação da tabela de dados medidos

ANA	15/02/88	22,90	24,00	0,960	0,54	0,96	12,40
ANA	16/05/88	41,10	25,00	0,980	0,46	1,65	18,80
ANA	18/08/88	37,70	25,00	0,760	0,17	1,51	6,29
ANA	16/02/89	56,40	29,00	1,460	1,02	1,94	57,40
ANA	16/02/89	56,50	29,00	1,460	1,02	1,95	57,40
ANA	22/05/89	43,80	26,00	0,900	0,27	1,68	11,80
ANA	17/08/89	39,60	24,00	0,750	0,17	1,65	6,90
ANA	21/08/90	44,20	27,00	1,120	0,51	1,64	22,60
ANA	21/05/92	42,95	27,00	0,950	0,35	1,59	15,00
ANA	21/05/92	42,30	27,00	0,950	0,35	1,57	14,60
ANA	19/09/92	29,80	27,00	1,040	0,52	1,10	15,60
ANA	09/05/93	33,90	26,00	0,870	0,32	1,30	10,80
ANA	27/08/93	36,60	26,50	0,680	0,17	1,38	6,38
ANA	15/02/94	38,20	24,00	1,650	0,52	1,59	20,00
ANA	03/06/94	45,00	26,00	0,920	0,47	1,73	21,30
ANA	02/08/94	47,00	26,00	0,840	0,32	1,81	15,00
ANA	24/11/94	44,10	27,00	0,940	0,36	1,63	15,70
ANA	08/05/95	28,60	28,00	1,060	0,25	1,02	7,26
ANA	11/08/95	38,90	29,00	1,010	0,20	1,34	7,91
ANA	11/10/95	43,50	28,00	1,040	0,25	1,55	10,70
ANA	08/12/95	24,80	32,90	0,960	0,30	0,75	7,35
ANA	23/04/96	40,50	26,00	0,940	0,39	1,56	15,90
ANA	24/07/96	30,40	25,00	0,840	0,19	1,22	5,82
ANA	21/10/96	42,10	35,00	1,650	1,04	1,20	43,70
ANA	28/04/97	14,79	13,00	0,970	0,48	1,14	7,04
ANA	11/07/97	27,91	21,00	1,180	0,20	1,33	5,69
ANA	17/10/97	41,96	24,00	1,480	0,41	1,75	17,10
ANA	23/01/98	32,46	22,00	0,980	0,59	1,47	19,20
ANA	23/01/98	32,50	22,00	0,980	0,59	1,48	19,20
ANA	18/04/98	27,85	21,00	0,900	0,58	1,33	16,10
ANA	18/04/98	27,90	21,00	0,900	0,58	1,33	16,10
ANA	22/07/98	24,50	21,00	0,740	0,39	1,17	9,47
ANA	23/10/98	29,30	22,00	0,990	0,69	1,33	20,20
ANA	15/01/99	34,20	22,00	1,190	0,93	1,55	31,90
ANA	16/04/99	33,10	23,00	1,200	1,16	1,44	38,40
ANA	09/08/99	17,30	18,00	0,570	0,46	0,96	8,02
ANA	15/01/00	27,30	22,30	0,840	0,60	1,22	16,30
ANA	15/01/00	42,20	35,80	0,840	0,38	1,18	16,00
ANA	11/04/00	30,10	23,80	0,940	0,29	1,26	8,79
ANA	20/07/00	25,10	22,40	0,760	0,17	1,12	4,30
ANA	20/10/00	32,80	24,50	1,050	1,34	0,39	12,90
ANA	26/09/01	30,10	33,10	1,050	0,44	0,91	13,40
ANA	09/11/01	30,30	21,90	1,010	0,41	1,41	12,50
ANA	03/02/04	42,65	26,50	1,520	0,36	1,61	15,14
ANA	21/09/04	39,91	26,60	1,340	0,22	1,50	8,59
ANA	05/10/04	37,09	26,60	1,290	0,19	1,39	7,10
ANA	01/12/04	87,10	57,00	1,520	0,24	1,64	21,23
ANA	21/03/06	45,14	35,90	0,260	0,14	1,39	6,16
ANA	22/08/06	35,60	34,00	1,970	0,09	1,05	3,18
ANA	25/10/06	33,26	10,50	1,210	0,22	3,17	7,42
ANA	05/12/06	53,03	37,00	1,490	0,41	1,43	21,70

ANEXO 6

TABELA DE DADOS VALIDADOS PELA ANA

12/10/1985 a 21/10/1997		22/10/1997 a 31/12/2001	
C (m)	Q (m³/s)	C (m)	Q (m³/s)
0,6	2,05	0,5	4,40
0,7	3,70	0,6	6,80
0,8	6,00	0,7	9,70
0,9	9,40	0,8	13,20
1,0	14,00	0,9	17,50
1,1	20,00	1,0	22,50
1,2	27,00	1,1	27,80
1,3	35,00	1,2	34,90
1,4	44,00	1,3	42,90
1,5	54,20	1,4	51,60
1,6	65,40	1,5	61,00
1,7	77,60	1,6	71,30
1,8	90,80	1,7	82,50
1,9	105,00	1,8	94,50
2,0	119,70	1,9	106,70
2,1	134,40	2,0	119,70
2,2	150,40	2,1	134,40
2,3	167,70	2,2	150,40
2,4	186,30	2,3	167,70
2,5	206,30	2,4	186,30
2,6	227,50	2,5	206,30
2,7	250,00	2,6	227,50
2,8	273,80	2,7	250,00
2,9	298,90	2,8	273,80
3,0	325,30	2,9	298,90
3,1	352,50	3,0	325,30
3,2	380,50	3,1	352,50
3,3	409,30	3,2	380,50
3,4	438,90	3,3	409,30
3,5	469,40	3,4	438,90
3,6	500,64	3,5	469,40
3,7	532,60	3,6	500,60
3,8	565,40	3,7	532,60
3,9	598,70	3,8	565,40
4,0	632,50	3,9	598,70
4,1	667,60	4,0	632,50
4,2	704,20	4,1	667,60
4,3	742,30	4,2	704,20
4,4	781,90	4,3	742,30
4,5	823,10	4,4	781,90
4,6	865,70	4,5	823,10
4,7	909,80	4,6	865,70
4,8	954,40	4,7	909,80
4,9	999,00	4,8	954,40
5,0	1044,00	4,9	999,00

Continuação da tabela de dados validados pela ANA

5,1	1088,00	5,0	1044,00
5,2	1133,00	5,1	1088,00
5,3	1178,00	5,2	1133,00
5,4	1222,00	5,3	1178,00
5,5	1267,00	5,4	1222,00
5,6	1312,00	5,5	1267,00
5,7	1356,00	5,6	1312,00
5,8	1401,00	5,7	1356,00
5,9	1446,00	5,8	1401,00
6,0	1490,00	5,9	1446,00
		6,0	1490,00

ANEXO 7

**TABELA DE DADOS DAS CURVAS GERADAS PELO *SOFTWARE*
STEVENS**

Período de validade: 12/10/1985 a 14/05/2008					
Curva Stevens 1		Curva Stevens 4		Curva Stevens 10	
C (m)	Q (m³/s)	C (m)	Q (m³/s)	C (m)	Q (m³/s)
0,5	0,32	0,7	2,59	0,1	0,11
0,6	2,16	0,8	6,86	0,2	0,41
0,7	4,54	0,9	11,56	0,3	0,95
0,8	7,47	1,0	16,68	0,4	1,76
0,9	10,97	1,1	22,21	0,5	2,89
1,0	15,07	1,2	28,14	0,6	4,38
1,1	19,78	1,3	34,47	0,7	6,24
1,2	25,14	1,4	41,20	0,8	8,53
1,3	31,16	1,5	48,32	0,9	11,27
1,4	37,87	1,6	55,84	1,0	14,50
1,5	45,30	1,7	63,77	1,1	18,26
1,6	53,48	1,8	72,11	1,2	22,59
1,7	62,43	1,9	80,86	1,3	27,51
1,8	72,20	2,0	90,03	1,4	33,07
1,9	82,80	2,1	99,62	1,5	39,32
2,0	94,28	2,2	109,66	1,6	46,28
2,1	106,66	2,3	120,13	1,7	54,02
2,2	119,99	2,4	131,06	1,8	62,56
2,3	134,30	2,5	142,46	1,9	71,96
2,4	149,63	2,6	154,32	2,0	82,26
2,5	166,02	2,7	166,67	2,1	93,52
2,6	183,50	2,8	179,52	2,2	105,78
2,7	202,13	2,9	192,86	2,3	119,10
2,8	221,94	3,0	206,73	2,4	133,53
2,9	242,98	3,1	221,12	2,5	149,13
3,0	265,29	3,2	236,05	2,6	165,95
3,1	288,93	3,3	251,53	2,7	184,07
3,2	313,93	3,4	267,58	2,8	203,53
3,3	340,35	3,5	284,20	2,9	224,41
3,4	368,23	3,6	301,41	3,0	246,77
3,5	397,64	3,7	319,23	3,1	270,68
3,6	428,62	3,8	337,66	3,2	296,21
3,7	461,22	3,9	356,71	3,3	323,43
3,8	495,51	4,0	376,41	3,4	352,41
3,9	531,53	4,1	396,77	3,5	383,24
4,0	569,35	4,2	417,79	3,6	416,00
4,1	609,02	4,3	439,50	3,7	450,76
4,2	650,61	4,4	461,90	3,8	487,60
4,3	694,17	4,5	485,01	3,9	526,62
4,4	739,77	4,6	508,85	4,0	567,90
4,5	787,48	4,7	533,43	4,1	611,54
4,6	837,35	4,8	558,77	4,2	657,62

Continuação da tabela de dados das curvas geradas pelo *software* STEVENS

4,7	889,45	4,9	584,87	4,3	706,24
4,8	943,85	5,0	611,76	4,4	757,50
4,9	1000,62	5,1	639,44	4,5	811,49
5,0	1059,83	5,2	667,94	4,6	868,33
5,1	1121,54	5,3	697,27	4,7	928,12
5,2	1185,84	5,4	727,44	4,8	990,96
5,3	1252,79	5,5	758,47	4,9	1056,96
5,4	1322,48	5,6	790,37	5,0	1126,23
5,5	1394,96	5,7	823,16	5,1	1198,90
5,6	1470,33	5,8	856,86	5,2	1275,08
5,7	1548,67	5,9	891,48	5,3	1354,89
5,8	1630,04	6,0	927,03	5,4	1438,44
5,9	1714,53			5,5	1525,88
6,0	1802,22			5,6	1617,32
				5,7	1712,90
				5,8	1812,75
				5,9	1917,00
				6,0	2025,80
